

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD TÉCNICA
CARRERA: QUÍMICA INDUSTRIAL



TRABAJO DIRIGIDO
“DISEÑOS DE LECHADAS PARA LA
CEMENTACIÓN DE POZOS PETROLEROS”

Nivel: LICENCIATURA

Nombre: PABLO ANTONIO ANTEZANA VÁSQUEZ

Docente Tutor: ING. CESAR RUÍZ ORTIZ

La Paz – Bolivia

2013

ÍNDICE

CAPÍTULO I

RESUMEN EJECUTIVO.....5

ANTECEDENTES DE LA INSTITUCIÓN.....8

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....9

CAPÍTULO III

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....11

CAPÍTULO IV

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....13

CAPÍTULO V

OBJETIVOS DEL PROYECTO.....15

1. Objetivo general.....16

2. Objetivos específicos.....16

CAPÍTULO VI

METODOLOGÍA UTILIZADA EN LABORATORIO QUÍMICO.....17

I. API ESTÁNDARES.....18

a. RP 10B-2 (práctica recomendada 10B-2).....18

II. EQUIPOS DE LABORATORIO.....18

a. Balanza electrónica (digital).....18

b. Mezcladora (blender).....19

b.1 componentes.....19

c. Consistómetro atmosférico.....21

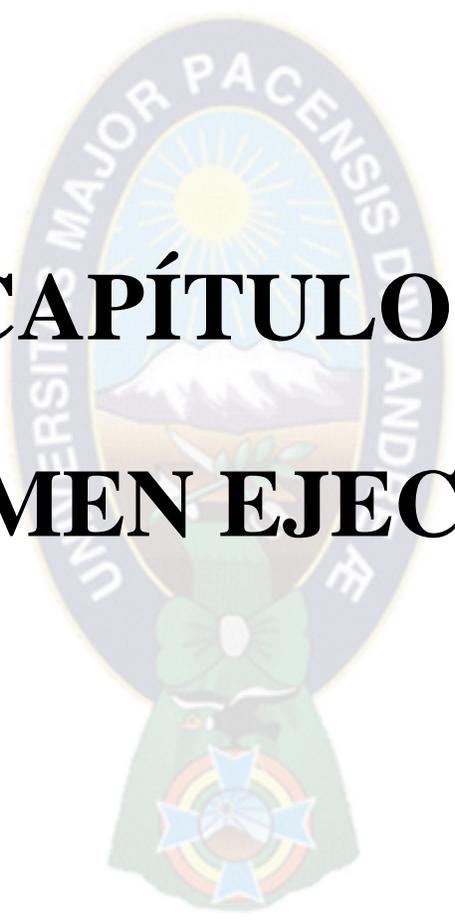
c.1. Componentes.....21

d. Reómetro fann 35.....22

	d.1. Accesorios del fann35.....	24
	e. Prensa filtro.....	26
	e.1. Componentes.....	26
	f. Consistómetro presurizado.....	27
	f.1. Definiciones.....	28
	i. El tiempo de espesamiento.....	28
	ii. El tiempo de tránsito.....	28
	iii. POD (punto de partida).....	28
	f.2. Características y componentes.....	29
	g. Analizador de cemento ultrasónico (UCA).....	32
	g.1. Componentes.....	32
III.	10B-2 PROCEDIMIENTOS.....	33
	a. Muestreo, envío, almacenamiento y preparación de muestras.....	34
	➤ Schlumberger.....	34
	i. Muestras de cemento.....	34
	ii. Muestras de Agua.....	34
	iii. Muestras de Aditivos.....	35
	b. Preparación de la lechada.....	36
	➤ Balanza electrónica o mecánica.....	36
	➤ Mezclador.....	36
	c. Densidad de la lechada.....	37
	➤ Montaje.....	37
	➤ Desmontaje.....	38
	d. Tiempo de fraguado.....	39
	➤ Consistómetro presurizado (requerido).....	39
	➤ Montaje.....	40
	e. Pérdida de fluido estático.....	42
	➤ Montaje.....	43

➤ Desmontaje.....	44
f. Propiedades reológicas.....	45
g. Estabilidad de la lechada (fluido libre y sedimentación).....	47
➤ Sedimentación preparación.....	48
i. Ensayo sónico no destructivo (UCA).....	51
➤ Montaje.....	51
➤ Desmontaje.....	51
j. Calibraciones.....	52
CAPÍTULO VII	
RESULTADOS	53
I. RESULTADOS PREVISTOS	54
a. Efecto de antiespumantes.....	54
b. Efecto de aceleradores.....	55
➤ Efectos secundarios del CaCl_2	57
• Incremento en el calor de hidratación.....	57
• Reología de la lechada.....	57
• Resistencia a la compresión.....	57
• Contracción.....	57
• Permeabilidad.....	57
c. Efecto de antisedimentantes.....	58
➤ Problemas particulares.....	59
d. Efecto de extendedores.....	60
• Extendedores base a agua.....	61
• Sólidos de baja densidad.....	61
• Materiales de muy baja densidad.....	61
e. Efecto de controladores de filtrado.....	64
f. Efecto de los dispersantes.....	67
g. Efecto de los aditivos controladores de migración de gas.....	71

➤ Fase de transición.....	71
➤ Consecuencias de la migración de gas.....	74
➤ Métodos de Prevención.....	75
h. Efecto de los retardadores.....	75
➤ Mecanismos de acción.....	76
i. Efecto de los agentes de peso.....	81
II. RESULTADOS OBTENIDOS.....	82
III. RESULTADOS ACADÉMICOS.....	91
CAPÍTULO VIII	
CONCLUSIONES.....	92
I. A nivel empresa.....	93
II. A nivel académico.....	93
CAPÍTULO IX	
RECOMENDACIONES.....	94
I. A nivel académico.....	95
ÍNDICE DE PALABRAS ABREVIADAS.....	96
CAPÍTULO X	
BIBLIOGRAFÍA.....	98

The logo of Universidad Mayor Pacensis D. Andrés Bello is a circular emblem. It features a sun with rays at the top, a mountain range in the middle, and a green field with a white cross at the bottom. The text "UNIVERSIDAD MAJOR PACENSIS D. ANDRÉS BELLO" is written around the perimeter of the emblem.

CAPÍTULO I:

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo dirigido se orientó a los procedimientos y equipos utilizados por un laboratorio de pruebas para la cementación de pozos petroleros en etapa de perforación-construcción, así como los componentes químicos comúnmente utilizados para proveer características determinadas para estos sistemas de fluidos y para obtener los resultados esperados y previstos en el campo de operaciones, con la participación de otras áreas, personal y software especializado para este propósito, siendo una buena coordinación, comunicación y participación entre todas las áreas y personal involucrado necesarios para el éxito de toda la operación.

A medida que se desarrolla este trabajo se evidencia la gran y amplia gama de requerimientos necesarios, así como las combinaciones de parámetros físicos únicos de cada trabajo a realizar, características del terreno y reservorio, necesarios para poder identificar que aditivos químicos y procedimientos específicos (pruebas o test) que se desarrollarán hasta obtener resultados esperados y deseados, así como también se evidencia el margen de error considerable debido a la varianza tanto de las composiciones entre lotes de todos los materiales disponibles (por ejemplo cemento, aditivos, etc.), así como los grandes volúmenes de producto diseñado y elaborado, lo cual acrecienta dicho margen de error a considerar. Debido a todo esto es indispensable contar con personal capacitado para poder lidiar con un volumen amplio de opciones para poder determinar las composiciones y procedimientos adecuados para desarrollar dichas pruebas de laboratorio.

En este trabajo también se puede evidenciar la necesidad de contar con equipos únicos para este fin, los cuales tienen cada uno un rol muy importante en los análisis a desarrollar para poder obtener resultados fiables y dar la opción al operador de modificar los diseños hasta obtener los resultados requeridos. Así también los procedimientos estandarizados como los que rige dichos análisis (norma API RP 10 B-2) garantizan a las operadoras petroleras (ej.: Petrobras, BG, Repsol, YPF, etc.) la calidad, producción

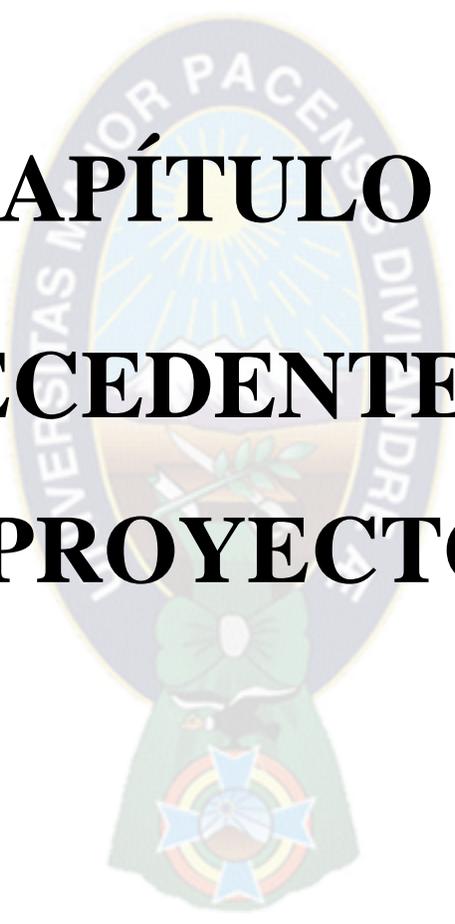
y estabilidad a mediano y largo plazo de los reservorios para los cuales se realizan este tipo de trabajos.

Para finalizar se determinaron resultados previstos obtenidos en el laboratorio para todas las etapas de una cementación para un pozo en particular como fue el de la operadora B.G. (British Gas) para su pozo en perforación “Palo Marcado 6”, las cuales fueron confirmadas y verificadas en las pruebas realizadas en laboratorio con los resultados obtenidos.



ANTECEDENTES DE LA INSTITUCIÓN

- 1) INSTITUCIÓN: Schlumberger Surencó S.A.
- 2) DIRECCIÓN: Carretera antigua a Cochabamba Km seis y medio
Santa Cruz – Bolivia.
- 3) SUPERVISOR DESIGNADO: Ing. Mario Rioja (Field Engineer II)



**CAPÍTULO II:
ANTECEDENTES DEL
PROYECTO**

En la actualidad los requerimientos y necesidades de la industria petrolífera, las cuales van en aumento, referidos a productos y servicios con cumplimientos estrictos de estándares de calidad, medio ambiente así como legales regulatorios propios de cada región y/o país, hacen que se especialicen y diversifiquen las empresas para poder cumplir con estos y proporcionar un servicio y productos con un alto grado de satisfacción para maximizar las ganancias-producciones y minimizar los riesgos-perdidas en la industria petrolífera y sus productos.

Surge así la necesidad inevitable de incorporar tecnología, la cual nos garantice fiabilidad y trazabilidad de resultados, así como proveer las condiciones de reproducibilidad lo más reales posibles del campo de operaciones, para garantizar un producto y servicio de buena calidad, asegurando el futuro y crecimiento constante y sustentable con el tiempo.

Es así que el segmento encargado de proveer estos servicios de pozos dentro de la empresa Schlumberger se denomina WELL SERVICES el cual a su vez y de acuerdo al servicio prestado se sub-divide en WCS (Well Construction Services - cementación) y WPS (Well Production Services - estimulación acida).

Siendo el contenido de datos y conocimientos de estas áreas de un volumen muy ampuloso de composición de aditivos y sus concentraciones, este trabajo dirigido se orientara a diseños de laboratorio de cementación realizados durante el tiempo que implicó el desarrollo de este trabajo dirigido, específicamente para el pozo “Palo Marcado 6” perteneciente a la compañía BG group.

Los procesos realizados son directamente dependientes del servicio, así como características del reservorio como ser su composición geológica y características físicas como presiones, temperaturas y profundidades respectivas.



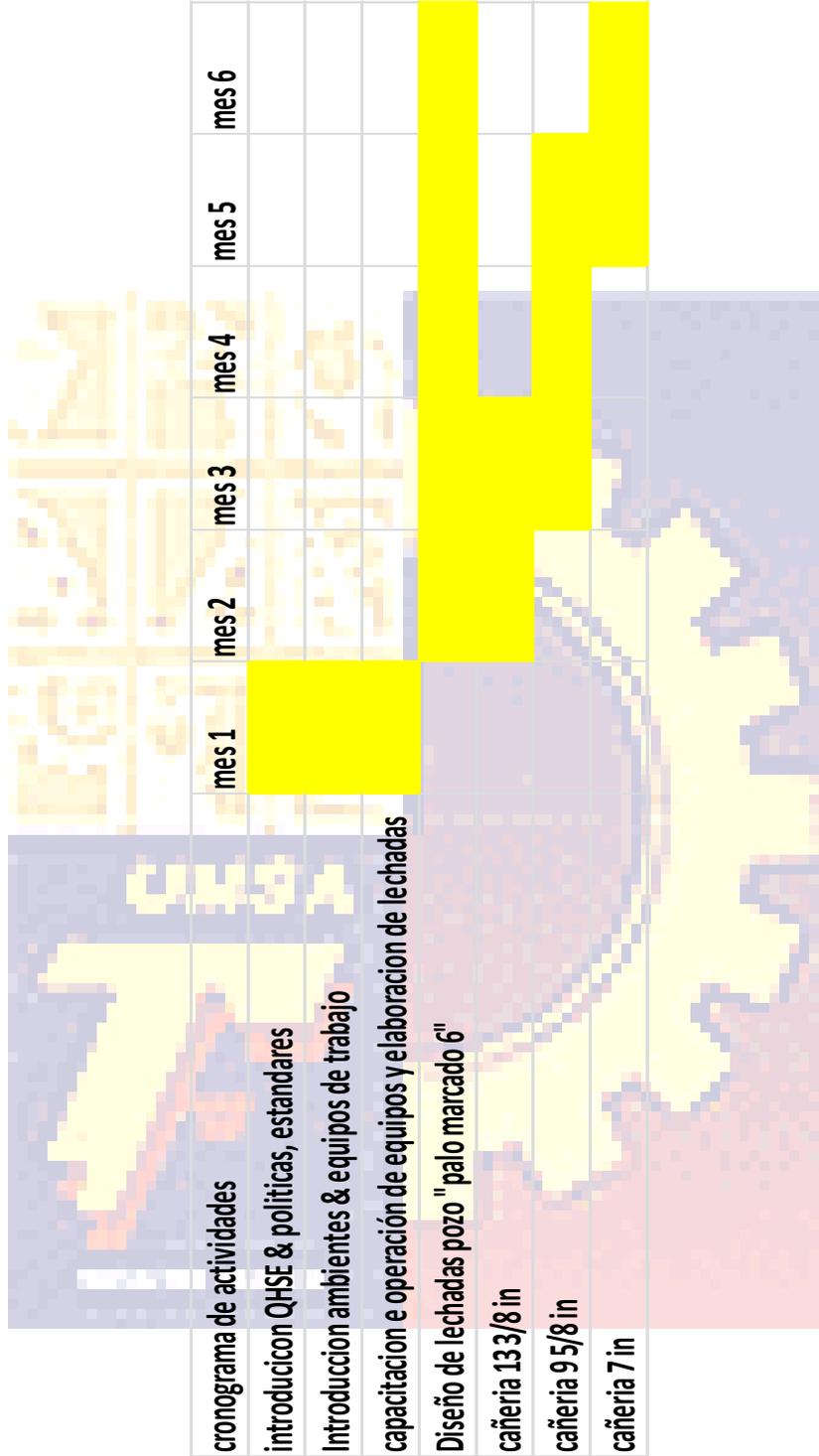
CAPÍTULO III:
JUSTIFICACIÓN DEL
PROYECTO

El presente trabajo dirigido se justifica en base primordial a la compatibilidad entre el trabajo desempeñado por el laboratorio de la compañía y el perfil académico con el que cuenta la carrera de química Industrial, promoviendo su diversificación y especialización en este rubro en particular como es el del estudio y análisis de laboratorio en servicios del campo petrolífero.

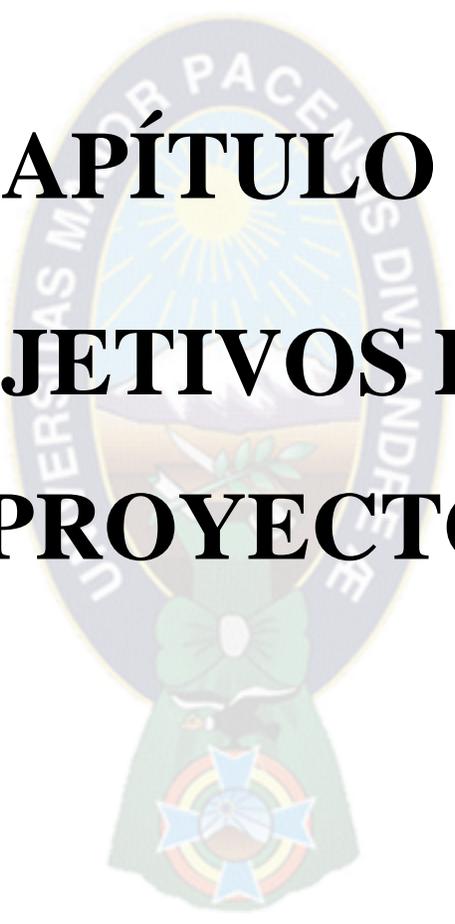
Siendo un tema de coyuntura actual en nuestro país y el mundo se pretende también ampliar el horizonte de conocimientos, aplicación e inserción profesional para los futuros egresados de la carrera de química industrial para poder posicionarse en un mercado más, tanto dentro del territorio Boliviano como el de proyectarse con expectativas internacionales.



**CAPÍTULO IV:
CRONOGRAMA DE
ACTIVIDADES**



Fuente: Elaboración propia



**CAPÍTULO V:
OBJETIVOS DEL
PROYECTO**

1) Objetivo general

Diseñar una lechada de cemento en laboratorio para la construcción de un pozo durante su perforación, de acuerdo a las características y parámetros físicos determinados fijos (temperatura, presión y profundidad), requerimientos y necesidades particulares de dicho pozo, desde su estudio y análisis inicial, hasta su etapa final, basado en normas y estándares API*.

2) Objetivos específicos

Se pretende alcanzar este objetivo principal de acuerdo a las etapas concadenadas siguientes:

- ❖ Analizar los parámetros y requerimientos de pozo proporcionados por el departamento de ingeniería Presiones, temperaturas y profundidades de trabajo.
- ❖ Optimizar las composiciones y concentraciones de los aditivos a ser utilizadas en las lechadas de cemento.
- ❖ Correr las pruebas estipuladas en base a normas API* hasta obtener los resultados deseados.
- ❖ Establecer si dicho diseño de composiciones, concentraciones y resultados obtenidos son los adecuados para lo requerido en los puntos anteriores.

* API: American Petroleum Institute

**CAPÍTULO VI:
METODOLOGÍA
UTILIZADA EN EL
LABORATORIO
QUÍMICO**



I. API ESTÁNDARES

Según el Instituto Americano del Petróleo se tiene el siguiente estándar.

a. RP 10B-2 (práctica recomendada 10B-2)

Estos estándares deben ser desarrollados por:

- i. Operadoras (YPFB, Shell, BP), “Compañías de Servicios” (Schlumberger, Halliburton, B.J.), Expertos en ensayos de cements y consultores.
- ii. Muchos programas de ensayos de laboratorio para evitar errores en las pruebas.
- iii. Seguir procedimientos con precisión para asegurar los resultados obtenidos.

II. EQUIPOS DE LABORATORIO

a. Balanza electrónica (digital)

- i. El primer equipo utilizado y muy común en los laboratorios, en los cuales su finalidad es de proceder a pesar los componentes y químicos a utilizarse en los procesos.

Esta balanza tiene como precisión 0.01g de error.



*Fig. a-1 Balanza digital marca Sartorius
Fuente: Elaboración propia*

b. Mezcladora (blender)

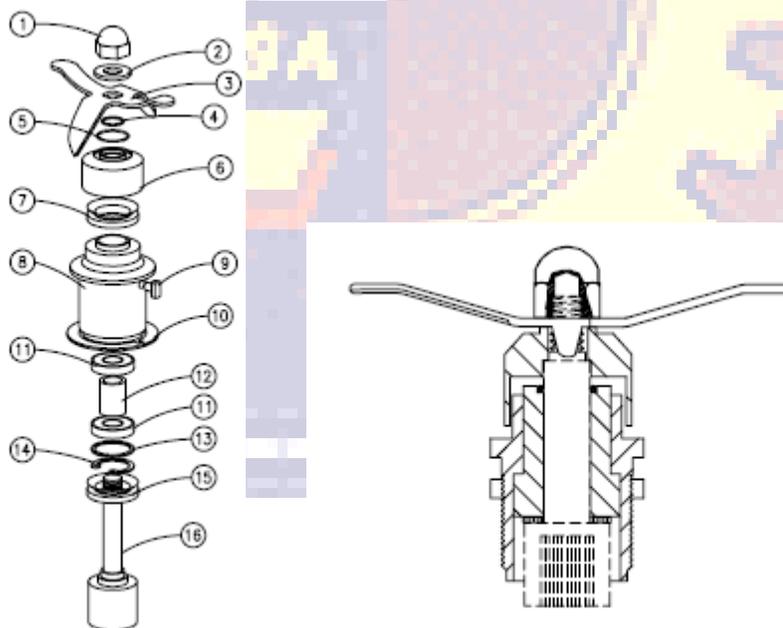
- i. Este equipo se utiliza en primera instancia para “mezclar” los componentes, en un orden, determinado por cada diseño y aditivo a ser utilizado.
- ii. Esta mezcladora cuenta con una velocidad máxima rotacional de 16000 RPM. Con fácil regulación de 1000 a 16000 RPM por medio de un potenciómetro variable, cuenta también con velocidades fijas mediante un sistema de memoria digital que cumple con las especificaciones de la norma API RP 10B-2.

b.1 Componentes

- ❖ Jarra de contención de acero inoxidable.
- ❖ Aspas.
- ❖ Regulador de velocidades fijo y variable.
- ❖ Controlador electrónico del sistema (Tacómetro).



*Fig b-1 Blender o mezcladora marca Chandler
Fuente: Elaboración propia*



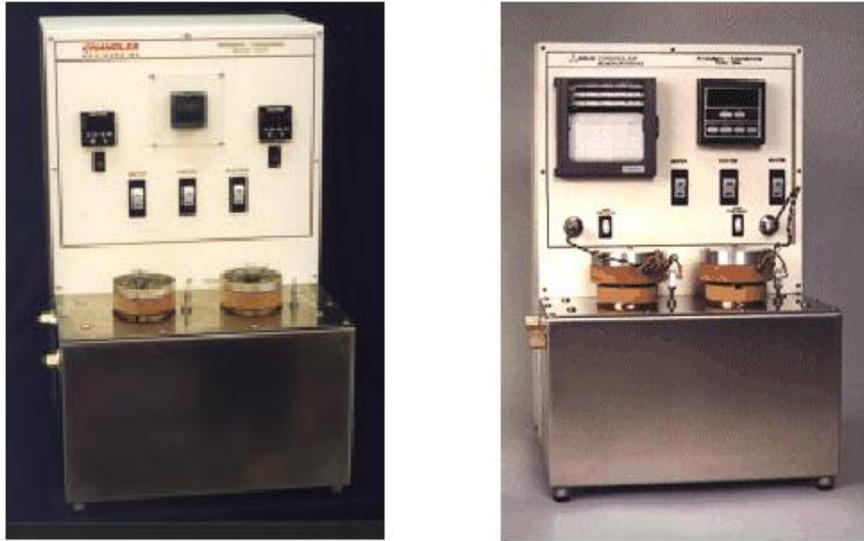
*Figs. b-2 Componentes y cuchilla (aspa) armada de la mezcladora
Fuente: Manual Chandler*

c. Consistómetro atmosférico

- i. Este equipo es utilizado para medir el tiempo de fraguado en condiciones atmosféricas, sin embargo se encuentra limitado a temperaturas de trabajo no mayores a los 190°F.
- ii. El uso más común para este equipo es el de pre acondicionar las lechadas a temperaturas mayores a las del ambiente para realizar pruebas de:
 - ✓ reología
 - ✓ compatibilidad
 - ✓ Perdida de Fluido estático

c.1. Componentes

- ❖ Controlador digital de temperatura y rampla de temperatura (tiempo para alcanzar la temperatura de trabajo).
- ❖ Cartilla graficadora de consistencia (en unidades Bearden)
- ❖ Motor giratorio de celdas.
- ❖ 2 celdas contenedoras de fluidos.
- ❖ Contenedor de aceite (baño de aceite).
- ❖ Sensor de temperatura de baño.
- ❖ Sensor de temperatura de resistencia (calefactora).



*Fig. c-1 Consistómetro atmosférico marca Chandler
Fuente: Elaboración propia*

d. Reómetro FANN 35

- i. Este equipo es utilizado para medir las respectivas viscosidades de los fluidos comúnmente preparados en el laboratorio (lechadas de cemento).
- ii. Viscosímetro rotacional que cuenta con cilindros concéntricos (rotor & bob)

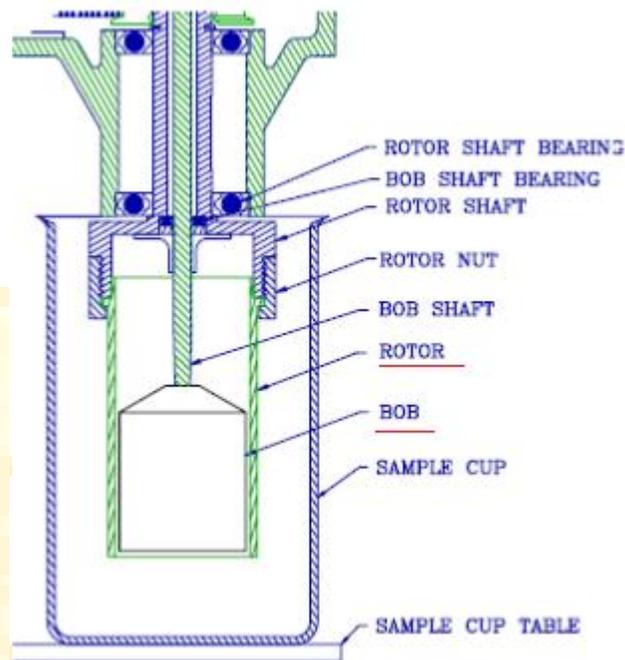


Fig. d-1 Componentes rotor – bob de reómetro
Fuente: Elaboración propia

- iii. Es un equipo de lectura directa que consta de hasta 12 velocidades (3, 6, 30, 60, 100, 200, 300, 600) para realizar las lecturas que son ejercidas por el fluido de prueba entre el cilindro de rotación y el bob. Las lecturas de viscosidad son hechas cuando el cilindro externo (rotando a una velocidad conocida) causa un torque al bob, el cual es traducida a un resorte de precisión y posterior lectura del instrumento.
- iv. Esta medida es función de un esfuerzo de corte causado por una velocidad de corte determinada:

“(resistencia interna a fluir)=Esfuerzo de Corte/Velocidad de Corte”.

- v. Las unidades de la viscosidad están expresadas en cP (centipoises) donde 1 poise = 100 centipoise = 1 g/(cm·s) = 0,1 Pa·s

- vi. Otros valores necesarios medidos con este instrumento son:
- ✓ **Esfuerzo de Gel:** es una medida de la fuerza de atracción entre las partículas de un fluido en condiciones estáticas.
 - ✓ **Punto cedente:** el cual es una fuerza mínima aplicada a un fluido para que este fluya se expresa en $\text{lbf}/100\text{ft}^2$. Este valor debe ser mayor a 5.

d.1. Accesorios del FANN 35

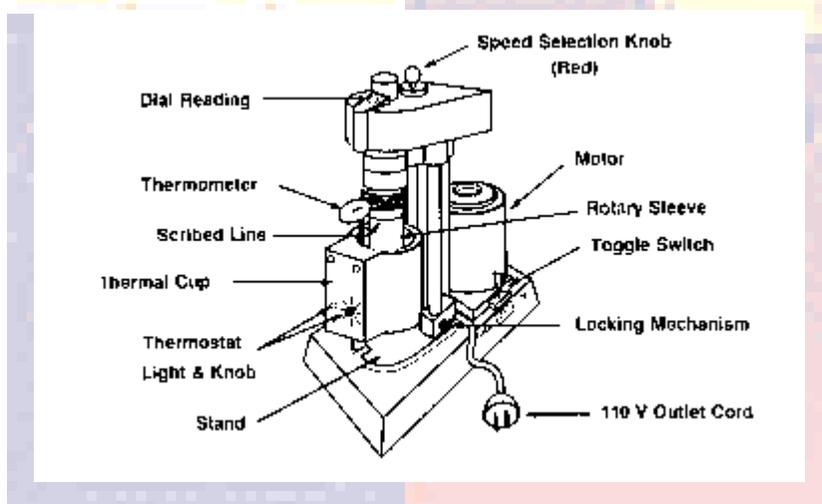
- ❖ *Taza calefactora de muestras:* Esta taza sirve para mantener la temperatura de estudio del fluido para las condiciones dadas de temperatura.
- ❖ Este debe ser usado a temperaturas no mayores a 200°F .
- ❖ Copa contenedora del fluido en estudio (lechada).



*Fig. d-2 Accesorio calefactor de fluidos de análisis de Reómetro
Fuente: Elaboración propia*



*Fig. d-3 Reómetro FANN 35
Fuente: Elaboración propia*



*Fig. d-4 Partes de un Reómetro convencional
Fuente: Elaboración propia*

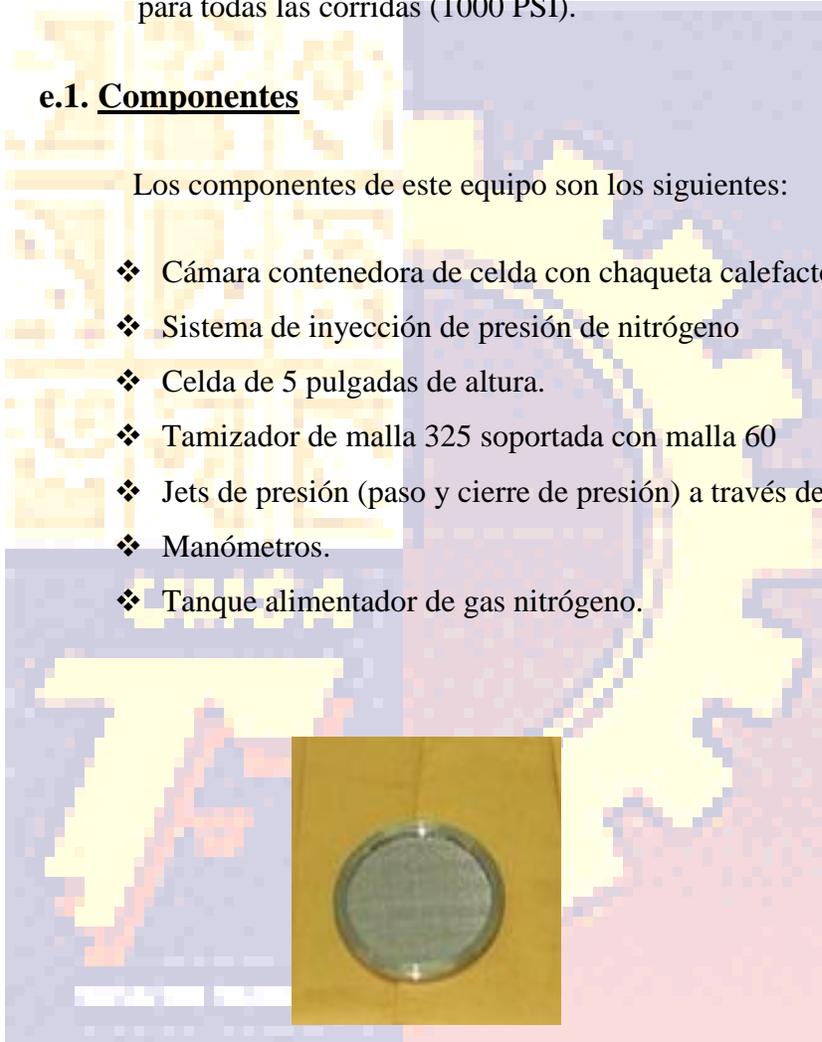
e. Prensa filtro

- i. Este equipo es utilizado para medir la pérdida de fluido debido a la presión ejercida dentro del pozo con las condiciones de temperatura dentro del mismo con parámetros de presión estándar para todas las corridas (1000 PSI).

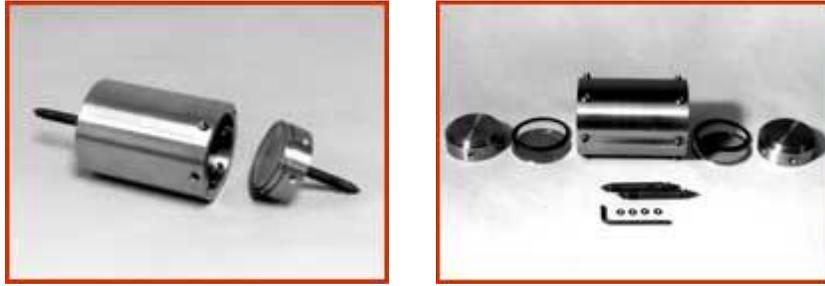
e.1. Componentes

Los componentes de este equipo son los siguientes:

- ❖ Cámara contenedora de celda con chaqueta calefactora.
- ❖ Sistema de inyección de presión de nitrógeno
- ❖ Celda de 5 pulgadas de altura.
- ❖ Tamizador de malla 325 soportada con malla 60
- ❖ Jets de presión (paso y cierre de presión) a través de la celda.
- ❖ Manómetros.
- ❖ Tanque alimentador de gas nitrógeno.



*Fig. e-1 a) tamizador de doble malla
Fuente: Elaboración propia*



*Figs. e-2 Capsula contenedora de fluido armada y desarmada
Fuente: Elaboración propia*



*Fig. e-3 Prensa filtro armada con conexiones de inyección de nitrógeno y accesorios
Fuente: Elaboración propia*

f. Consistómetro presurizado

- i. Este equipo simula condiciones de temperatura y presiones de fondo de pozo (de trabajo).
- ii. Básicamente mide el tiempo de espesamiento del fluido en estudio (viscosidad) en valores de unidades Bearden (adimensionales).

Estos valores sirven como indicador mediante la simulación de mezclado y posicionamiento del fluido en el tiempo en el cual sus propiedades de fraguado lo harán no bombeable debido al proceso de fraguado.

- iii. El requerimiento de tiempo de espesamiento se define de acuerdo al mayor valor obtenido según las formulas contienen un tiempo extra de seguridad según: $T.T.=2+(t_{\text{emplazamiento}})$;
 $T.T.=1.5 \times (t_{\text{emplazamiento}})$

f.1. Definiciones

- i. **El tiempo de espesamiento:** es el tiempo transcurrido desde la aplicación inicial de presión y temperatura hasta el tiempo en el cual la lechada alcanza una consistencia suficiente para hacerla no bombeable (ej., 70 o 100 Bc).
- ii. **El tiempo de tránsito:** Es el tiempo transcurrido desde cuando el cemento está totalmente fluido y capaz de transmitir presión (40 Bc) hasta que comienza a fraguarse y alcanza el punto final (100 Bc). La estructura del cemento es débil y la permeabilidad alta durante este período. Puede ocurrir flujo de fluido y migración de gas si la presión de la formación es suficiente. Por lo tanto, se desean tiempos de transición cortos.
- iii. **POD (punto de partida):** Punto de partida (point of departure) es el tiempo cuando ocurre un cambio en la curva de consistencia, vale decir habiendo comenzado el proceso de fraguado.

f.2. Características y componentes

- ❖ Rota a velocidad constante de 150+/-10 rpm por un rotor magnético.
- ❖ Bomba operada hidráulicamente la cual genera presión al cilindro.
- ❖ Controlador de temperatura programable automáticamente para ajustar la rata (tasa) de incremento de temperatura.
- ❖ Una termocupla* determina la temperatura de la lechada y el baño de aceite.
- ❖ Cartilla gráfica.
- ❖ Celda contenedora de fluido (lechada).
- ❖ La viscosidad de la lechada es adquirida por el potenciómetro por medio de la medida del torque generado y registrado como Bc luego es enviado al software de adquisición de datos.
- ❖ Tapa roscada para apertura y cierre de contenedor de celda.
- ❖ Capacidad de presión máxima 40000 PSI.
- ❖ Capacidad de temperatura máxima 600°F.

* Un termopar (también llamado termocupla) es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje (efecto Seebeck **), que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia.

** El efecto Seebeck es una propiedad termoeléctrica descubierta en 1821 por el físico alemán Thomas Johann Seebeck. Este efecto provoca la conversión de una diferencia de temperatura en electricidad. Se crea un voltaje en presencia de una diferencia de temperatura entre dos metales o semiconductores diferentes. Una diferencia de temperaturas T1 y T2 en las juntas entre los metales A y B induce una diferencia de potencial V.



Figs. f-1 a) Celda o capsula de contención de fluido desarmada (accesorios) b) Celda o capsula de contención de fluido armada
Fuente: Elaboración propia



Fig. f-2 Consistómetro presurizado (equipo)
Fuente: Elaboración propia

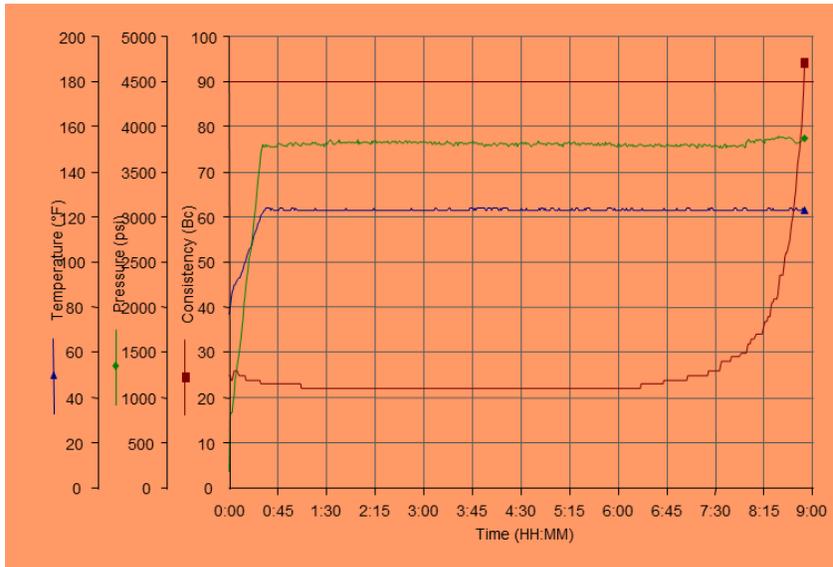
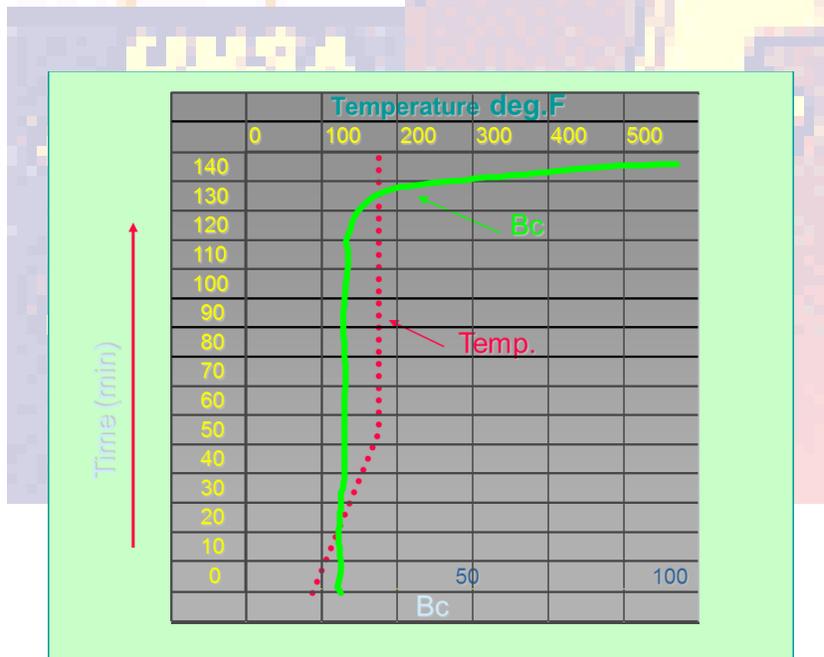


Fig. f-3 Cartilla con la gráficas de consistencia, presión y temperatura.
Fuente: Elaboración propia



Figs. f-4 Cartilla con gráfica de consistencia y temperatura.
Fuente: Elaboración propia

g. Analizador de cemento ultrasónico (UCA)

- i. Este método no destructivo permite determinar el esfuerzo a la compresión de la lechada de cemento con temperatura de BHST y presión de 3000 PSI.
- ii. Mediante un transductor^a determina la resistencia adquirida durante el tiempo de fraguado del cemento, siendo este el resultado del tiempo que tarda (cambio de velocidad) una señal ultrasónica en atravesar la muestra en cuestión.

g.1. Componentes

- ❖ Equipo de computación
- ❖ Copa de contención de muestras
- ❖ Alimentador de Agua
- ❖ Alimentador de aire (comprimido).
- ❖ Chaqueta de calefacción metálica (resistencia)
- ❖ Termocupla tipo J* que mide la temperatura de la lechada
- ❖ Controlador de temperatura programable automáticamente para ajustar la rata (tasa) de incremento de temperatura.

a Un **transductor** es un dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra diferente a la salida.

El nombre del transductor ya nos indica cual es la transformación que realiza (por ejemplo electromecánica, transforma una señal eléctrica en mecánica o viceversa), aunque no necesariamente en esa dirección, para obtener la información de entornos físicos y químicos y conseguir (a partir de esta información) señales o impulsos eléctricos o viceversa.

* Un termopar (también llamado termocupla) es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje (efecto Seebeck**), que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia.

Tipo J (Hierro / Constantán***): Su rango de utilización es de -270/+1200°C

** El efecto Seebeck es una propiedad termoeléctrica descubierta en 1821 por el físico alemán Thomas Johann Seebeck. Este efecto provoca la conversión de una diferencia de temperatura en electricidad. Se crea un voltaje en presencia de una diferencia de temperatura entre dos metales o semiconductores diferentes. Una diferencia de temperaturas T1 y T2 en las juntas entre los metales A y B induce una diferencia de potencial V.

*** El constantán es una aleación, generalmente formada por un 55% de cobre y un 45% de níquel



*Fig g-1 Ultrasonic Cement Analyzer (UCA)
Fuente: Elaboración propia*

III. 10B-2 PROCEDIMIENTOS

- a. Muestreo, envío, almacenamiento y preparación de muestras
- b. Preparación de lechadas
- c. Determinación de densidad
- d. Tiempo de fraguado
- e. Pérdida de fluido estático
- f. Propiedades reológicas
- g. Estabilidad de la lechada (fluido libre y sedimentación)
- h. Resistencia a la compresión (reemplazado por i.)**
- i. Ensayo sónico no destructivo (UCA)
- j. Calibraciones

a. **Muestreo, envío, almacenamiento y preparación de muestras**

- ❖ Contenedor a prueba de Humedad
- ❖ Bolsas plásticas de cierre (por ejemplo ziploc)
- ❖ Etiqueta legible
- ❖ Tipo de material, lote, fuente, fecha del muestreo (marcado en cuerpo del envase)
- ❖ Examinar para verificar integridad de la muestra
- ❖ Mezclar rigurosamente antes de usar
- ❖ Colocar en un lugar a pruebas de fugas

➤ **Schlumberger**

▪ **Muestras de cemento**

- La muestra representativa más adecuada es aquella que se toma al momento de transferirla al equipo de transporte desde la planta (silo¹).
- Se debe evitar tomar cemento parcialmente hidratado del fondo del silo
- Cantidad mínima de 10 Kg
- La muestra debe ser transportada en contenedores rígidos

▪ **Muestras de Agua**

- Cantidad mínima requerida 25 litros
- Debe ser de la misma fuente que se usara para el trabajo
- Si se utiliza un contenedor que contuvo otro químico se debe lavar rigurosamente y re-etiquetar.

¹ Un **silo** (del griego σιρός - *siros*, "hoyo o agujero para conservar grano") es una construcción diseñada para almacenar grano y otros materiales a granel

▪ **Muestras de Aditivos**

- Muestras de empaques o contenedores cerrados
- 500 gramos para muestras sólidas
- 1 litro para muestras líquidas

Nota: Todas las muestras deben estar claramente etiquetadas.



*Fig. a-1 Contenedor de muestra ziploc
Fuente: Elaboración propia*

b. Preparación de la lechada

➤ **Balanza electrónica o mecánica**

- ❖ Precisión de 0.1% de la carga

➤ **Mezclador**

1. Inspeccionar visualmente antes de su uso
2. Volumen de 600 ml de lechada (suficiente)
3. Temperatura del agua y del cemento– representativas del campo– si se desconoce es $73 \pm 2^{\circ}\text{F}$
4. Medir y registrar temperatura de trabajo
5. Agua de Mezcla – Composición afecta el desempeño – usar agua de mezcla del campo
6. Agua de Mezcla y aditivos líquidos pesados
7. Cuando se afecte la efectividad, agregar materiales en orden especificados (registrar el orden)
8. Mezclar todos los componentes añadidos a 4000 RPM ± 200 – por 35 seg.
9. Tasa uniforme (algunos blend requieren más tiempo)
10. Registrar la velocidad y carga
11. Inmediatamente subir la velocidad de mezcla a 12,000 RPM ± 500 por 15 ± 1 seg.



*Fig b-1 Blender o mezcladora
Fuente: Elaboración propia*

c. Densidad de la lechada

➤ **Montaje**

1. Llenar hasta $\frac{1}{4}$ in. de la Tapa
2. Colocar la válvula de la tapa abierta
3. Instalar hasta vaciar a través de la válvula
4. Instalar el aro
5. Llenar la Bomba
6. Presurizar con 50 psi aprox.
7. Retirar la bomba, permitiendo el cierre de la válvula check
8. Lavar y limpiar el equipo

9. Balancear hasta tener el nivel en la marca
10. Hacer correcciones necesarias

➤ **Desmontaje**

1. Presionar la Válvula hacia abajo
2. Retirar el aro
3. Limpiar y secar
4. Reemplazar o-rings si están dañados



*Fig. c-1 Balanza presurizada y accesorios
Fuente: Elaboración propia*



Fig. c-2 Balanza presurizada montada
Fuente: Elaboración propia



Fig. c-3 Lectura del fluido
Fuente: Elaboración propia

d. Tiempo de fraguado

➤ **Consistómetro presurizado (requerido)**

- ❖ Capaz hacer la simulación de presión y temperatura del pozo
- ❖ Paleta inmóvil, girando la copa
- ❖ Usar aceite especificado (viscosidad, calor específico)

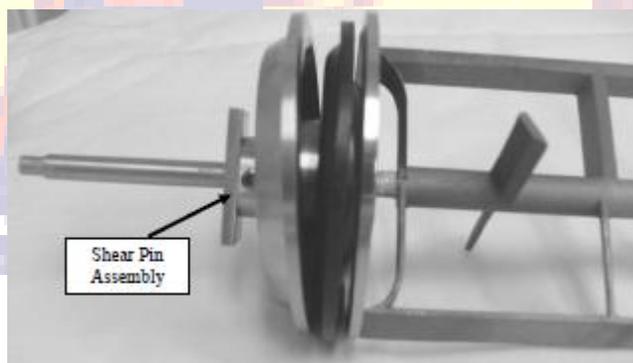
- ❖ Sistema de calefacción capaz de aumentar la temperatura en 5°F/min
- ❖ Rotación en 150 ±15 RPM
- ❖ El potenciómetro mide la consistencia

➤ **Montaje**

1. Monte el ensamble del eje de paleta y seguro en la taza (asegure que gira o da vueltas libremente)
2. Invierta la taza y llene a ¼ de pulgada debajo del tope (cima)
3. Golpee para quitar el aire (puede ser hecho mientras se llena)
4. Enroscar en el plato base y asegurar que la lechada es sacada (expulsada)
5. Colocar Tornillo pivote
6. Limpie el cemento de fuera
7. Compruebe de nuevo la paleta para asegurar vueltas libremente
8. Carga en Consistómetro.
9. Tiempo de operación aproximado máximo de 5 minutos



*Fig. d-1 Consistómetro presurizado (locación Bolivia)
Fuente: Elaboración propia*



*Fig. d-2 Pin de copla paleta-potenciometro
Fuente: Elaboración propia*

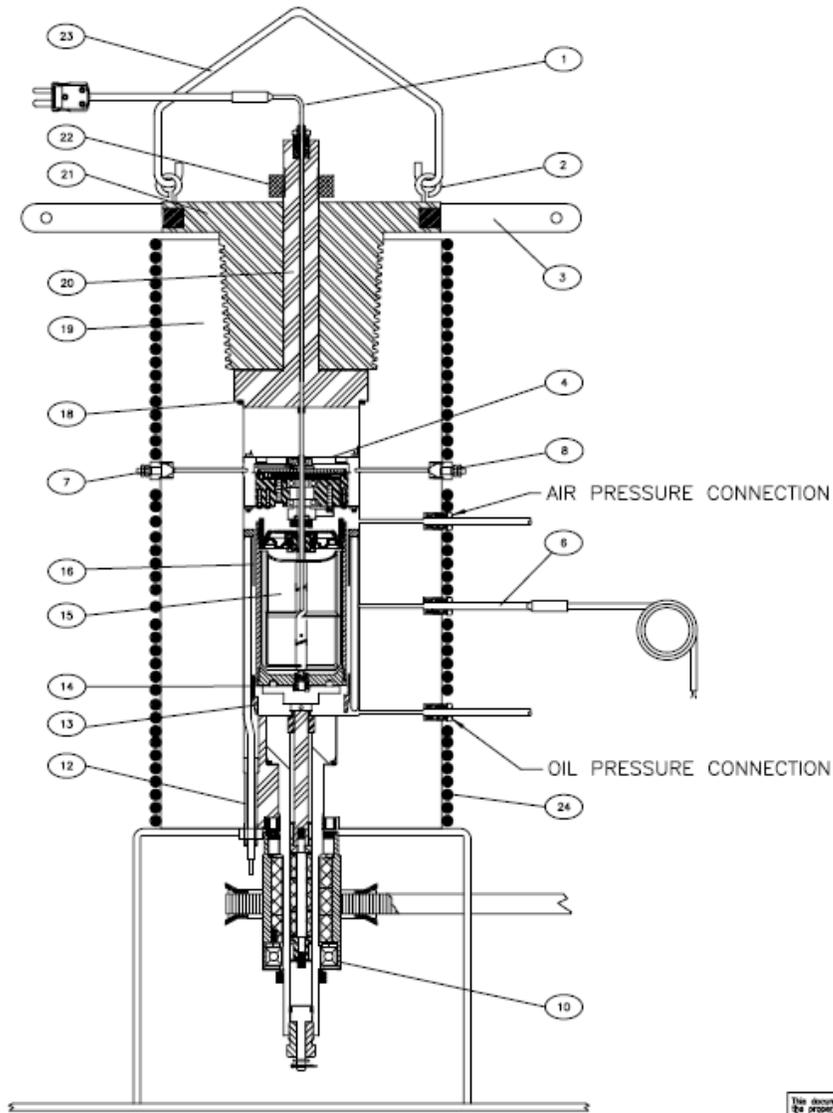


Fig. d-3 Vista interior de celda de consistometro presurizado
Fuente: Manual Chandler

e. Perdida de fluido estático

- ❖ Celda de prueba presurizada (Celda de Filtrado) calibrada para leer 1000 lpc
- ❖ Celda de 5 pulgadas
- ❖ Celda de pérdida de fluido invertida para la prueba luego de ser armada
- ❖ Termocupla en “pared” o en lechada

- ❖ Malla 325 sobre malla 60 (limpiar bien algunos depósitos de aditivos por pérdida de fluido).



*Fig.e-1 Mallas filtro de 325 + refuerzo de 60 mesh
Fuente: Elaboración propia*

➤ **Montaje**

1. Prepárese la celda, limpia y seca
2. Precaliente hasta la temperatura de prueba
3. Con la válvula cerrada, llenar la celda con la lechada dejando espacio para la expansión
4. $1 \pm \frac{1}{4}$ in. debajo de ranura para llenado en celda de 5 in de longitud
5. Coloque la pantalla (tamiz) y o-ring en la tapa y asegure bien
6. Cierre la válvula superior de la celda de pérdida de fluido
7. Invierta la celda
8. Conecte el N_2 y aplique 1000 lpc de presión diferencial ± 50 lpc a la celda de filtrado
9. Abra la válvula superior a la celda

10. Abra la válvula inferior, recogiendo el filtrado (la prueba debería ser comenzada dentro de 30 seg de inversión)
11. Colecte el filtrado y registre el volumen en ½ minuto, 1, 2, 5, 7.5, 10, 15, 25, y 30 minutos
12. Soplado (blowout) en seco de N₂ en menos de 30 minutos, el tiempo y volumen serán anotados

➤ **Desmontaje**

1. Cierre todas las válvulas y apague el calentador
2. Enfriar Celda a una temperatura manejable
3. Asegure que toda la presión sea liberada
4. Con cuidado limpie la pantalla, o-rings y vástagos de válvula



*Fig.e-2 Prensa filtro con accesorios
Fuente: Elaboración propia*

f. Propiedades reológicas

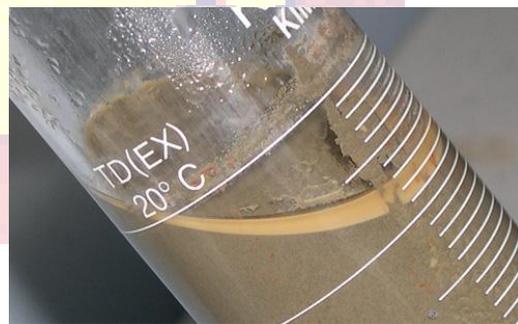
1. Acondicionamiento debe ser realizado en consistómetro atmosférico
2. Para lechadas no afectadas por el choque térmico, el contenedor de lechada del consistómetro atmosférico puede ser precalentado
3. Condicionamiento durante 20 minutos después de alcance de temperatura
4. Quitar la paleta y agite enérgicamente con la espátula por 5 segundos
5. La taza, el rotor y Bob deberían haber sido mantenidos en la temperatura de prueba $\pm 5^{\circ}\text{F}$
6. Inmediatamente verter la lechada en la taza y colocar al equipo (viscosímetro)
7. Mantener la temperatura de lechada $\pm 5^{\circ}\text{F}$ (el máximo 190°F) durante la prueba usando la taza acalorada (con calefacción)
8. Registre la temperatura de lechada
9. Tome la lectura estabilizada después de la rotación continua de 10 seg
10. Tomar lecturas sucesivas en ascenso luego en descenso después de 10 seg en cada velocidad (3, 6, 30, 60, 100, 200, 300).
11. Si se requiere la medida en la mayor tasa de corte (600RPM), se tomará después de todas las otras lecturas – estas pueden ser propensas a alto error debido a la segregación por la alta velocidad.
12. Registrar la temperatura de lechada
13. Medir la temperatura antes y después de lecturas
14. Lecturas en ascenso y luego en descenso.
15. Datos de resistencia de gel deben ser medidos en caso de ser requeridos
16. Parar la rotación por 10 seg., registre la temperatura
17. Rotación nuevamente en 5.1 seg^{-1} (3RPM) y desviación máxima de registro
18. Repita el procedimiento durante 10 minutos sin rotación y anotar la desviación máxima observada



*Fig. f-1 Reómetro FANN con 12 velocidades
Fuente: Elaboración propia*

g. Estabilidad de la lechada (fluido libre y sedimentación)

1. A temperatura ambiente
2. $30 \pm \frac{1}{2}$ minuto de acondicionado (opcional si es requerido)
3. Agitar fuertemente con la espátula para asegurar uniformidad en la lechada
4. Verter 250 ml de la lechada pre acondicionada en una probeta graduada de 250 ml (longitud de 232-250 mm) con graduaciones de 2 ml
5. Sellar el cilindro con una película de plástico
6. Inclinación (opcional) en ángulo para simular desviación de pozo
7. Asegurar condiciones "esencialmente" sin vibración
8. Prueba durante 2 horas (de vaciar en cilindro)
9. Fluido libre de medida a 0.2 ml de precisión
10. Calcular el fluido libre en %

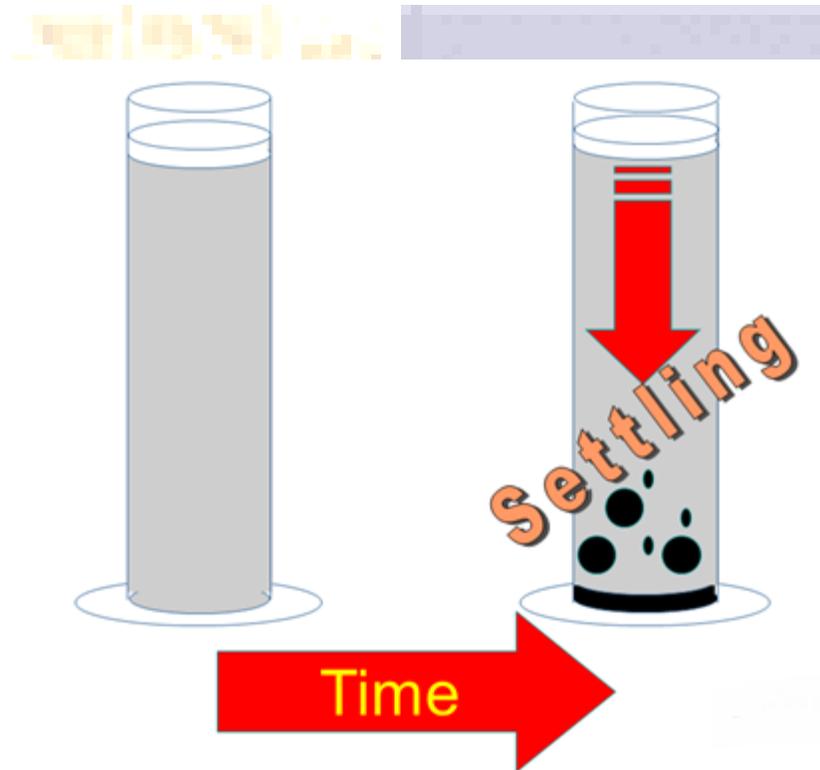


*Figs. g-1 prueba de fluido libre reproduciendo ángulo de perforación
Fuente: Elaboración propia*

➤ **Sedimentación preparación**

1. Vierta la lechada acondicionada en el tubo de sedimentación a aprox. $\frac{3}{4}$ la pulgada del tope
2. El tubo debería ser:
 - diámetro interior de 25 ± 5 mm
 - longitud mínima de 100 mm, la longitud más común 200 mm
 - ligeramente engrasado para ayudar retiro de lechada
3. Agitar Lechada para quitar aire
4. El tope debe estar cerrado para prevenir evaporación
5. Colocar el tubo en cámara precalentada (pre refrescada) a 190°F o temperatura de prueba si es mas frío
6. Aplicar la presión para prevenir ebullición (puede simular BHP), reducir al mínimo la vibración
7. Cura durante 24 horas o hasta fraguado
8. Quitar el tubo y llevar al baño maría a $80 \pm 10^{\circ}\text{F}$
9. Quitar el cemento del tubo
10. Tomar medida de la longitud:
 - Cortar en secciones, guardando el orden de la muestra
 - Registrar la masa
 - Colocar vaso de agua sobre balanza y tarar la balanza
 - Atar una cuerda delgada (hilo dental) alrededor de la muestra
 - Sumergir la muestra en el agua, suspendida por la cuerda, asegurando de no apoyar en los lados del vaso y libre de burbujas de aire
 - Registro de masa de la muestra suspendida en el agua
11. Repita para cada sección el mismo procedimiento anterior
12. Calcular la gravedad específica de cada sección
13. $\text{SG} = \text{masa aire}/\text{masa agua}$ SG: (gravedad específica)
14. $\text{Densidad} = \text{SG} \times 8.33$ (unidades en libras por galón)
15. Comparar con la densidad de lechada (el % de diferencia)

16. Construir el perfil de densidad de segmentos



*Fig.g-2 Ejemplo grafico de lo que sucede en la sedimentación
Fuente: Elaboración propia*



Fig. g-3 Prueba de laboratorio de fluido libre
Fuente: Elaboración propia

i. Ensayo sónico no destructivo (UCA)

- ❖ Mide la fuerza o resistencia a la compresión según parámetros API
- ❖ Capacidad de reproducir condiciones de alta presión y temperatura

➤ **Montaje**

1. Verificar los componentes de sellado (o-rings) si están dañados remplazar
2. Aplicar una capa delgada de grasa de alta temperatura dentro del cilindro o contenedor para facilitar la extracción del cemento endurecido
3. Enroscar la base
4. Mezclar según API y llenar el cilindro contenedor 200ml aprox.
5. Cerrar la tapa superior
6. Asegurar los cables y transductores
7. Una vez sellado y el software reconoció las señales proporcionar presión de 3000 PSI si el test no indica lo contrario, y configurar la temperatura y rampa de temperatura
8. Configurar los parámetros en el ordenador
9. Correr la prueba durante 24 horas

➤ **Desmontaje**

1. Abrir ambas tapas del cilindro
2. Golpear suavemente el cemento dentro la matriz para extraerlo
3. Limpiar los componentes para su próximo uso

j. Calibraciones

EQUIPOS	PARAMETROS A VERIFICAR	METODO DE TESTEO	PRECISION REQUERIDA	FRECUENCIA DE VERIFICACION
BALANZA ELECTRONICA	PESO	Pesas patrones	+/- 0.35 g	TRIMESTRAL
BALANZA LODO	DENSIDAD	API RP 10B	8.33 lb/gal	TRIMESTRAL
BALANZA LODO (Presurizada)	DENSIDAD	API RP 10B	8.33 lb/gal	TRIMESTRAL
CONSISTOMETRO PRESURIZADO DOBLE CELDA	VELOCIDAD	API RP 10B	150rpm +/- 15rpm	TRIMESTRAL
	PRESION		1 PSI	ANUAL
	TEMPERATURA		./- 1°F	TRIMESTRAL
CONSISTOMETRO ATMOSFERICO	VELOCIDAD	API RP 10B	150rpm +/- 15rpm	TRIMESTRAL
	TEMPERATURA		./- 1°F	TRIMESTRAL
UCA	TEMPERATURA	API RP 10B	./-1°F	TRIMESTRAL
	PRESION		100 PSI	ANUAL
CONSTANT SPEED MIXER	VELOCIDAD	API RP 10B	400 rpm +/- 100 rpm 12000 rpm +/- 500 rpm	TRIMESTRAL
POTENCIOMETRO	TORSION	API RP 10B	De acuerdo a parámetros descritos en la norma API	TRIMESTRAL
VISCOSIMETRO	VELOCIDAD	API RP 10B	3,6,30,60,100,200,300,600 rpm	TRIMESTRAL
	TORSION		De acuerdo a la norma API	TRIMESTRAL
PRENSA FILTRO	TEMPERATURA	API RP 10B	./-1°F	TRIMESTRAL
	PRESION		./-100 psi	ANUAL

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VII: RESULTADOS



I. RESULTADOS PREVISTOS

a. Efecto de antiespumantes

Uno de los problemas primordiales que se generan al momento de mezclar las lechadas, es la formación de espuma, lo cual se debe a la pobre humectabilidad de las partículas sólidas, así como también de las características de éstos.

Esta generación de espuma ocasiona la cavitación* de las bombas de los equipos, lo cual ocasiona pérdida de succión y daño a dichos equipos, así como también dar lecturas menores de densidad (con equipo de medición atmosférico), lo cual conlleva a obtener lechadas con densidades mayores a las deseadas.

El mecanismo de acción de estos compuestos es el de esparcirse sobre la superficie de la espuma con más baja tensión superficial entrando en su estructura ocasionando una ruptura a éste.

La concentración utilizada varía entre 0.025 – 0.25% recomendada

Los compuestos más utilizados para este fin son los poliglicol-ésteres y siliconas.

Ej.:



Éster de polietilenglicol

* La **cavitación** o aspiraciones en vacío es un efecto hidrodinámico que se produce cuando el agua o cualquier otro fluido en estado líquido pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido, puede ocurrir que se alcance la presión de vapor del líquido de tal forma que las moléculas que lo componen cambian inmediatamente a estado de vapor, formándose burbujas o, más correctamente, *cavidades*. Las burbujas formadas viajan a zonas de mayor presión e implotan (el vapor regresa al estado líquido de manera súbita, «aplastándose» bruscamente las burbujas) produciendo una estela de gas y un arranque de metal de la superficie en la que origina este fenómeno.

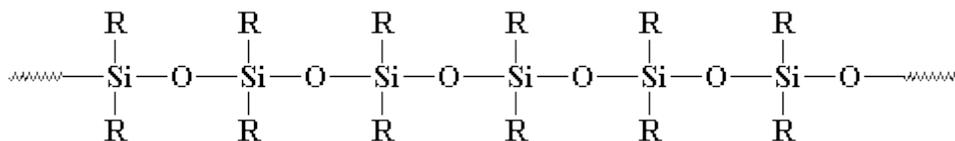


Fig.1 Silicona

b. Efecto de aceleradores

El tiempo de espesamiento de las lechadas debe ser el suficiente para mezclar y posicionar el fluido dentro del pozo, y una vez posicionado el cemento debe endurecer y desarrollar resistencia a la compresión lo antes posible, esto para prevenir la posible migración de fluido.

El tiempo de espesamiento deseado depende de las condiciones de profundidad, presión y temperatura, siendo que para cementaciones poco profundas es necesario que el tiempo de fraguado sea relativamente corto comparado con profundidades mayores, para lo cual se debe añadir el uso de aceleradores.

Su mecanismo de acción no está comprendido completamente, incluso para el cloruro de calcio, el más comúnmente utilizado, esto debido a la naturaleza del cemento y la complejidad de las reacciones de hidratación involucradas.

Una de dos posibles postulaciones del mecanismo de reacción es que se incrementa la hidratación de C_3S debido a los iones cloruro y calcio, provocando la formación de hidróxido de calcio precipitado (portlandita), lo cual resulta en tiempos de fraguado menores.

La aplicación de los aceleradores resulta en los casos siguientes:

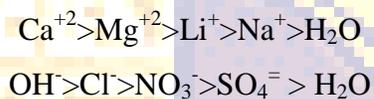
- ✓ Casing o tuberías superficiales (wait on cement WOC[†] reducido)

[†] Suspensión de operaciones de perforación mientras se solidifica la lechada de cemento emplazada y desarrolle una determinada resistencia a la compresión para continuar con el proceso de perforación

- ✓ Cementaciones a temperaturas bajas o ambiente.
- ✓ Efecto de retardación de otros aditivos
- ✓ Lechadas de cemento ligeras con tiempos de espesamiento largos

Muchas sales inorgánicas son aceleradores, los cloruros son los más conocidos y comúnmente utilizados. Otras sales incluyendo carbonatos, silicatos (especialmente de sodio), aluminatos, nitratos, sulfatos, tiosulfatos y bases alcalinas como las de sodio, potasio y amonio, también proporcionan una acción acelerante.

Estos pueden ser ordenados de acuerdo a su eficiencia:



Siendo el cloruro de calcio el más eficiente y económico de los aceleradores y usado en concentraciones promedio de 1-4% por peso de cemento (“BWOC” By Weight Of Cement).

El uso excesivo por encima del 5% del cloruro de calcio puede ocasionar un fraguado instantáneo (flash set).

cemento clase A		Tiempo de fraguado en hh:mm		
% acelerador	91°F (33°C)	103°F (39°C)	113°F (45°C)	
0	04:00	03:30	02:32	
2	01:17	01:11	01:01	
4	01:15	01:02	00:59	

cemento clase G		Tiempo de fraguado en hh:mm		
% acelerador	91°F (33°C)	103°F (39°C)	113°F (45°C)	
0	04:45	03:35	02:42	
2	02:04	01:43	01:30	
4	01:20	-	-	

% acelerador	resistencia a la compresion PSI		
	6 hr	12 hr	24 hr
0	45	370	1260
2	410	1020	2510
4	545	1245	2890

*Tablas de resultados de acuerdo a concentraciones de acelerador
Fuente: Elaboración propia*

➤ Efectos secundarios del CaCl_2

- **Incremento en el calor de hidratación.-** Este puede aumentar una vez posicionado y desde las primeras horas de mezclado hasta en 15.5°C . Esto puede ser utilizado para medir el tope de cemento dentro de la perforación por medio de perfiles de temperatura.
- **Reología de la lechada.-** El punto de cedencia se ve incrementado, mientras que la viscosidad plástica se ve aumentada alrededor de 30 minutos de hidratación a condiciones ambiente.
- **Resistencia a la compresión.-** Se incrementa la resistencia a la compresión durante unos pocos primeros días. La magnitud de este efecto depende de la temperatura de curado y concentración.
- **Contracción.-** Contracción volumétrica en concretos puede ser incrementada entre 10 a 15% durante el grado máximo de hidratación y cambios en los productos de este. Sin embargo este efecto en cementos para cementación de pozos no es conocido ni similar, donde las condiciones de servicio son muy diferentes.
- **Permeabilidad.-** Inicialmente la permeabilidad del cemento endurecido será reducida debido al alto volumen de hidratación de productos presente en comparación con cementos libre de aditivos. En las últimas etapas, cuando el grado de hidratación es similar al de sistemas cementos

no tratados, el cemento fraguado conteniendo cloruro de calcio será más permeable.

Otro acelerador muy común y abundante es el “**cloruro de sodio**”, sin embargo no tan efectivo como el de calcio, este en concentraciones menores actúa como acelerador, sin embargo en concentraciones mayores a 18% actúa como antagonista⁺ (retardador). Siendo el rango preferido de 3-5%.

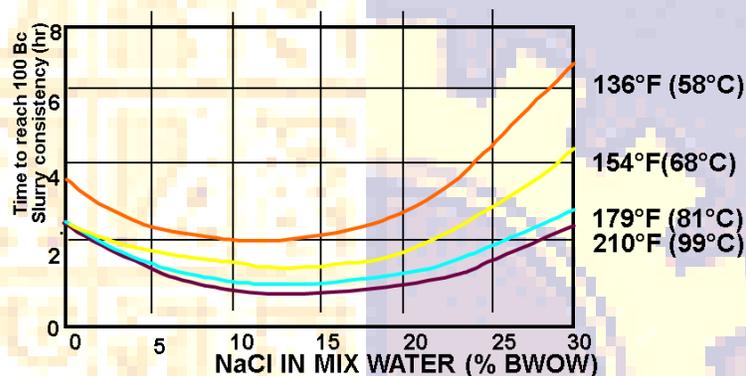


Fig.2 Concentración de NaCl y curvas de tiempo de espesamiento
Fuente: Cementing Materials Manual Section 10.A “Calcium Chloride”

c. Efecto de antisedimentantes

El efecto de los antisedimentantes es básicamente de aumentar las propiedades de viscosidad de la lechada de cemento para evitar que los componentes sólidos tiendan a precipitar por gravedad. Designado para prevenir problemas de agua libre y sedimentación de los sólidos del fluido.

Especialmente utilizado para aumentar el valor del punto de cedencia cuando se encuentra en niveles bajos como por ejemplo 5 lbf/100ft².

+ Oposición mutua o acción contraria, especialmente entre fármacos, músculos, organismos, etc.

Su uso también está indicado para sistemas pesados cuando estos contienen agentes de peso como ser la hematita (Fe_2O_3).

Este uso está limitado también debido al incremento de los valores reológicos o de viscosidad.

Las concentraciones del aditivo de Schlumberger es de 0.1 – 1.5 % BWOC.

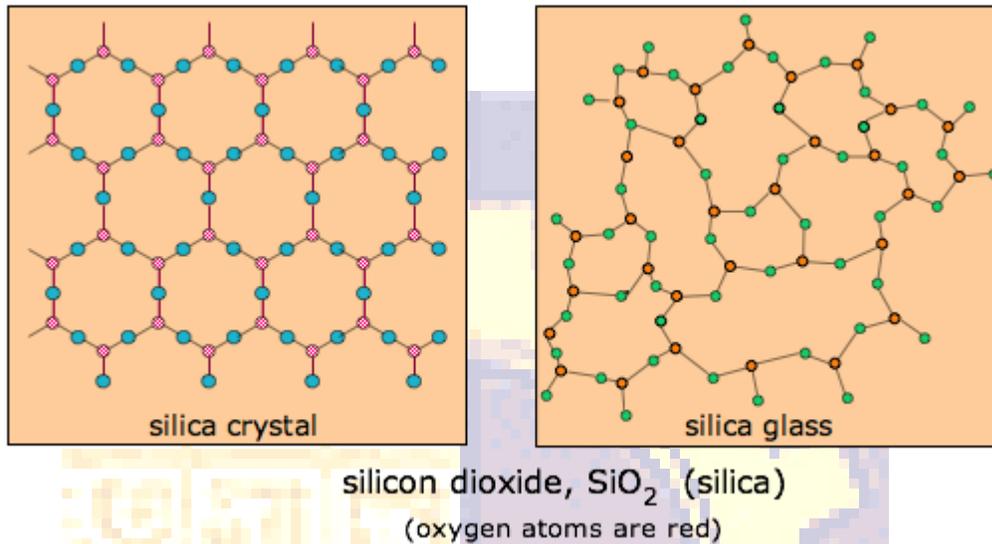
➤ **Problemas particulares**

- **Formación de espuma.-** Al momento de pre hidratar se presenta este efecto, debido a esto es muy recomendado el uso de agentes antiespumantes o des espumantes.
- **Adición de dispersantes.-** Con la adición conjunta de este aditivo se solucionan problemas de agua libre dando resultados muy eficientes.

% por peso de cemento	viscosidad	punto cedente	agua libre	sedimentación
% antisedimentante	Pv (cP)	Ty (lbf/100Ft ²)	ml/2 h reposo	
0	34.6	0.9	12	si
0.2	48.7	2.3	trazas	no

*Efectos del antisedimentante para una lechada con cemento G y 15.8 ppg. BHCT 110°F (43°C)
Fuente: Cementing Materials Manual Section 16.D “Antisettling Agents”*

- La composición básica de estos aditivos es sílica cristalina:



*Fig.3 Diferentes tipos de configuración atómica entre la sílica cristalina y vidrio
Fuente: Cementing Materials Manual Section 16.D "Antisettling Agents"*

d. Efecto de extendedores

El uso de estos aditivos es el de aumentar la cantidad de agua que puede ser añadida a la mezcla debido a la capacidad de absorber agua en relación a su peso de dichos aditivos. Incrementa la viscosidad y la capacidad de mantener en suspensión los sólidos, esto sin afectar en gran medida las características del cemento.

El extendedor más sencillo y conocido es el agua, sin embargo el aumento de agua a los sistemas conlleva perjuicios en dichos diseños, debido a esto la bentonita es uno de los aditivos utilizados para este fin, debido a su bajo costo y efectividad, y

además de que esta es capaz de expandir severamente su volumen original, aumentando la viscosidad del fluido y su capacidad para mantener sólidos suspendidos.

Entre las cualidades de los extendedores ultraligeros es el de obtener lechadas con densidades menores a las del agua, lo cual nos permite lidiar con zonas de muy bajas presiones de fractura manteniendo excelentes propiedades mecánicas.

Las composiciones utilizadas de la bentonita pueden ascender hasta un 20% por peso de cemento, para obtener densidades de hasta aproximadamente 11 libras por galón (1.32g/cc).

Entre los extendedores más conocidos tenemos:

- **Extendedores base a agua:**
 - Agua
 - Arcillas bentonitas o montmorillonita compuestas de hidratos de silicatos de aluminio. $(\text{Na,Ca})_{0,3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
 - Extendedores químicos (silicatos de sodio) Na_2SiO_3
- **Sólidos de baja densidad:**
 - Puzolanas (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) > 70%
 - Microsílica
- **Materiales de muy baja densidad**
 - Nitrógeno
 - Micro esferas cerámicas (presión máxima 5000 PSI) Esferas de Aluminosilicato huecas Al_2O_3 y SiO_2 .

bentonita prehidratada %	agua necesaria (gal/sk)	densidad (ppg)	rendimiento (ft3/sk)
0	5.2	15.6	1.18
0.5	6.4	14.8	1.34
1	7.6	14.1	1.5
1.5	8.8	13.5	1.66
2	10	13.1	1.83
2.5	11.2	12.7	1.99
3	12.4	12.4	2.16
4	14.8	11.9	2.48
5	17.2	11.5	2.81

Fig.4 Tabla de datos de concentraciones de bentonita
Fuente: Elaboración propia

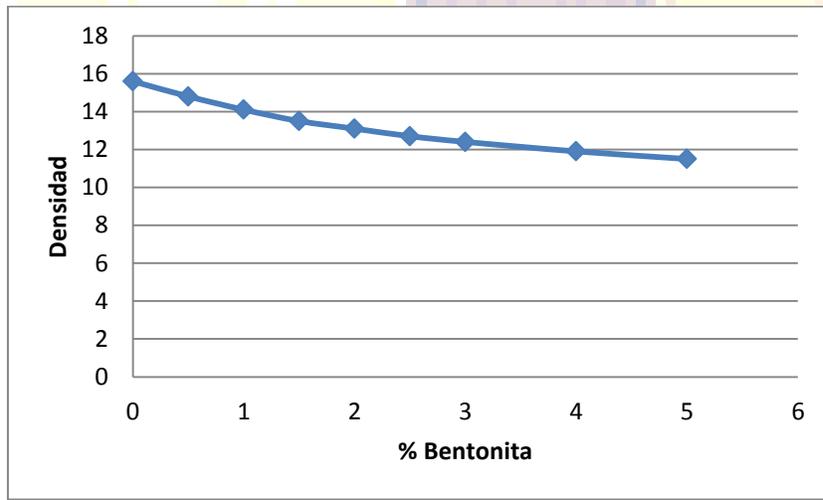


Fig.5 %Bentonita Vs. Densidad
Fuente: Elaboración propia

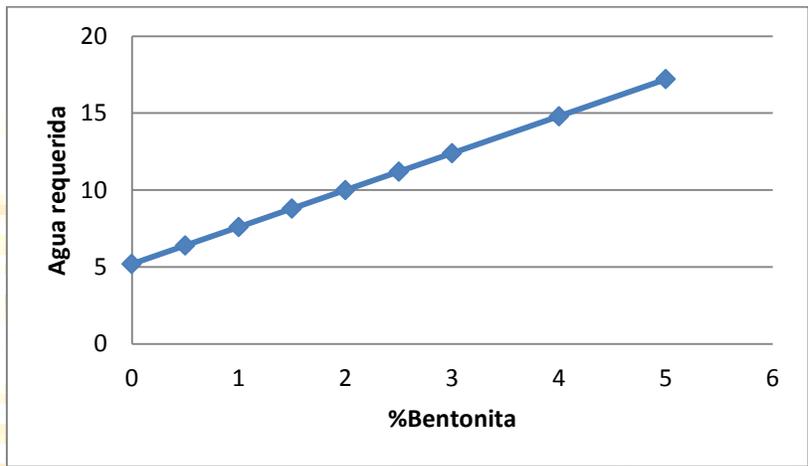


Fig.6 %Bentonita Vs. Agua requerida
Fuente: Elaboración propia

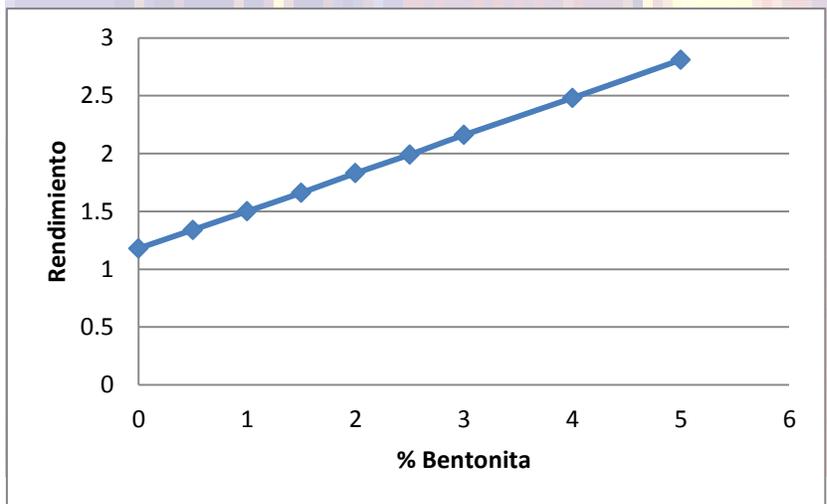


Fig.7 %Bentonita Vs. Rendimiento
Fuente: Elaboración propia

e. Efecto de controladores de filtrado

Estos aditivos también son denominados por sus siglas en inglés FLAC's (Fluid Loss Additives Controllers).

La pérdida por filtrado se define como la separación de la fase acuosa de los sólidos contenidos en una lechada (deshidratación de la lechada), esto sucede cuando la lechada es colocada a través de una formación permeable bajo presión.

Los factores que ocasionan el grado de esta pérdida por filtrado son:

- ✓ Presión diferencial de pozo
- ✓ Permeabilidad de la formación
- ✓ Relación agua/cemento

Las tasas requeridas de pérdida de filtrado son de 20-300ml/30min. Dependiendo del tipo de trabajo a realizar.

Cuando el agua se filtra a la formación, también lo hacen algunos aditivos, lo cual puede ser un problema en formaciones fracturadas donde el filtrado puede entrar en lo profundo de la formación. Si la profundidad de invasión del filtrado es suficientemente pequeña, entonces no se espera que se presenten problemas, el cual es normalmente el caso.

Su principal función es la de subir la viscosidad de la fase acuosa lo cual reduce la tasa de filtrado, así también reduciendo la permeabilidad de la retorta, bloqueando los poros.

- Los efectos negativos de la pérdida por filtrado es que debido a que la retorta⁺ contiene muchos iones (70% SO_4^- ; 15% OH^- ; 12% Ca^{+2}), estos pueden ser responsables de impartir permeabilidad y por ende migración de gas. Dicha retorta también se caracteriza por tener un P^{H} de 12 a 12.5.

⁺ Residuo deshidratado por acción de la presión ejercida en la celda que ocupa la lechada en la pérdida por filtrado

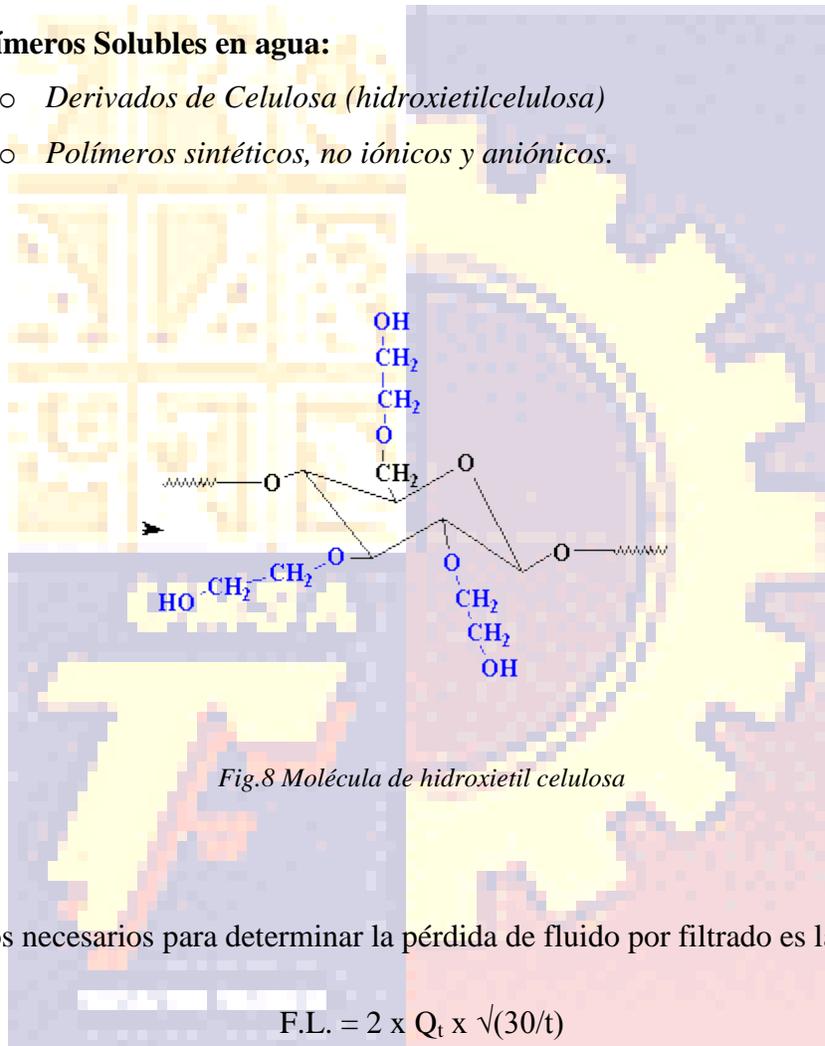
La composición de estos aditivos es la siguiente:

- **Partículas:**

- *Partículas FLAC's: Bentonita.*
- *Látex FLAC's: Látex*

- **Polímeros Solubles en agua:**

- *Derivados de Celulosa (hidroxietilcelulosa)*
- *Polímeros sintéticos, no iónicos y aniónicos.*



Los cálculos necesarios para determinar la pérdida de fluido por filtrado es la siguiente:

$$F.L. = 2 \times Q_t \times \sqrt{(30/t)}$$

Donde:

- ✚ Q_t : Cantidad de fluido colectado en un determinado tiempo
- ✚ t : Tiempo menor igual a 30 min
- ✚ F.L.: Filter Loss (pérdida por filtrado)

El momento de alcanzar los 30 minutos se debe parar la prueba

La concentración de FLAC aditivo manufacturado por Schlumberger es del rango de 0.1 – 0.8% BWOC.

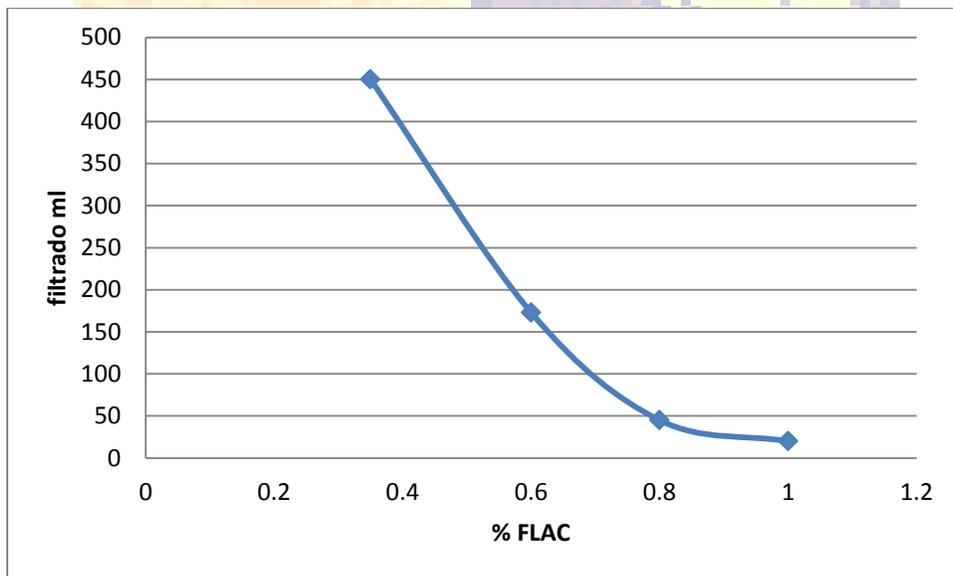


Fig.9 Concentración FLAC Vs. Filtrado obtenido
Fuente: Cementing Materials Manual Section 6.A.2 "Fluid Loss"

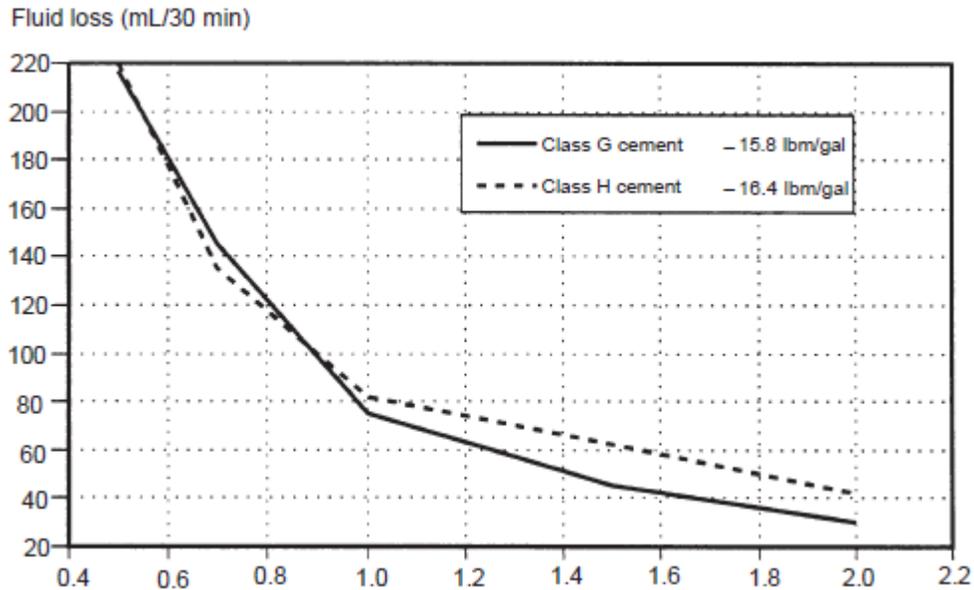


Fig.10 % de controlador de gas (uso como controlador de filtrado)
 Fuente: Cementing Materials Manual Section 6.A.2 "Fluid Loss"

f. Efecto de los dispersantes

El uso de estos aditivos es muy comúnmente utilizados para:

- ✓ Reducir la viscosidad y el punto cedente
- ✓ Reducir las presiones de fricción
- ✓ Lechadas de agua reducida (altas densidades)
- ✓ Mejorar la eficiencia de los aditivos para la pérdida por filtrado FLAC's

Debido a que estas lechadas tienen un alto contenido de fracción volumétrica sólida, vale decir densidades elevadas y el número de partículas sólidas de cemento en un volumen dados, también los valores reológicos serán elevados.

La reología de una lechada se debe a la formación de hidratos (C-S-H gel y etringita)*, la hidrólisis del gel de hidrato de silicato cálcico (C-S-H gel), resulta en una

* La etringita es un sulfoaluminato de calcio hidratado formado durante la hidratación del cemento ($\text{Ca}_6\text{Al}_2\text{O}_6(\text{SO}_4, \text{SeO}_4)_3 \cdot 26\text{H}_2\text{O}$)

superficie cargada negativamente, así los iones de calcio Ca^{+2} en la fase acuosa son atraídos induciendo a una carga positiva, la cual a su vez puede adherirse a otro grano de cemento o en el mismo grano, vale decir se forman puentes entre iones cargados opuestamente. Si esto no se diera la carga positiva generada ocasionaría una dispersión espontánea. Siendo el grado de interacción entre partículas lo que determina la reología de la lechada de cemento. Así también el valor de cedencia se relaciona con la fuerza requerida para romper estos enlaces interactivos entre partículas y por ende producir movimiento del fluido.

Estos valores también se ven afectados e incrementados debido a que la base acuosa (fluido base) contiene muchas especies iónicas y compuestos orgánicos cuyas características reológicas son diferentes a las del agua.

La acción de estos aditivos es que están compuestos de moléculas de polímeros cargados negativamente, las cuales son atraídas por los sitios cargados positivamente en las superficies de los granos de cemento hidratados.

Es así que las cargas positivas originales es invertida y el sistema se incrementa negativamente a medida que aumenta la concentración de dispersante. Las cargas repulsivas resultantes rompen los agregados de partículas resultantes en partículas individuales y el sistema es dispersado.

Esto ocasiona que se pueda bombear dicha lechada por los equipos a menores tasas de bombeo.

La composición química de los dispersantes es la siguiente:

- **Sulfonatos (Superplastificadores):**
 - Polinaftalensulfonatos (PNS)
 - Polimelaminasulfonatos (PMS)

- **Lignosulfonatos (Plastificadores):**
 - Lignosulfonato de sodio
 - Lignosulfonato de calcio
- **Sales orgánicas y ácidos:**
 - Acido Cítrico

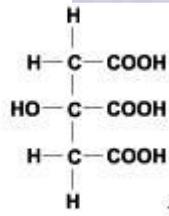


Fig.11 molécula de ácido cítrico
Fuente: Elaboración propia

La composición utilizada para el dispersante de Schlumberger es de 0.1 a 1.5% BWOC.

Ej.: Mecanismo de acción de los dispersantes:

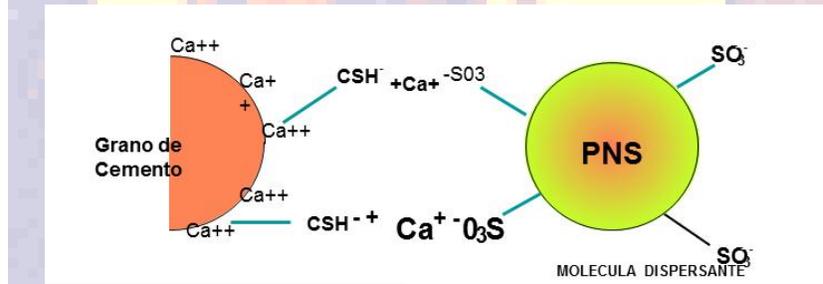


Fig.12 Mecanismo de acción de dispersante PNS
Fuente: ASM - Cementing Section 8.C "Extenders"

% dispersante	T = 25 °C		T = 35 °C	
	Pv	Ty	Pv	Ty
0	41	42	95	78
0.1	38	40	75	65
0.2	30	41	30	55
0.3	24	5	18	12
0.4	20	3	10	4

Fig.13 Tabla de comparación %dispersante, viscosidades, puntos cedentes y perfiles de temperatura
Fuente: ASM - Cementing Section 8.C "Extenders"

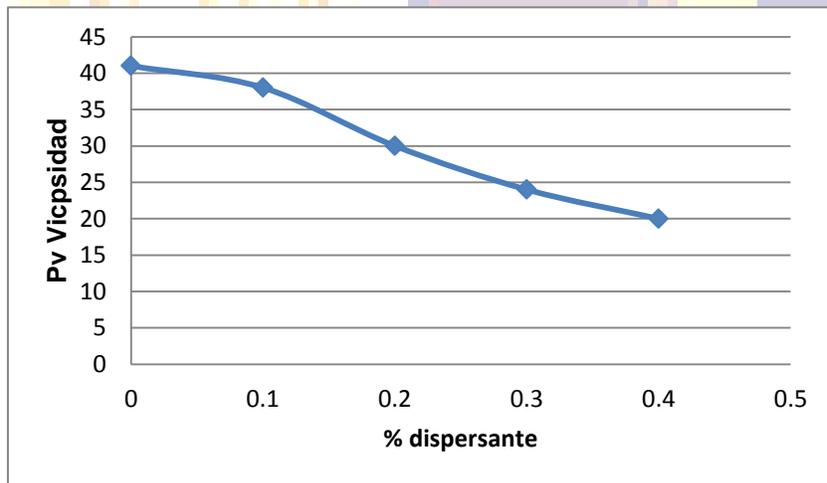
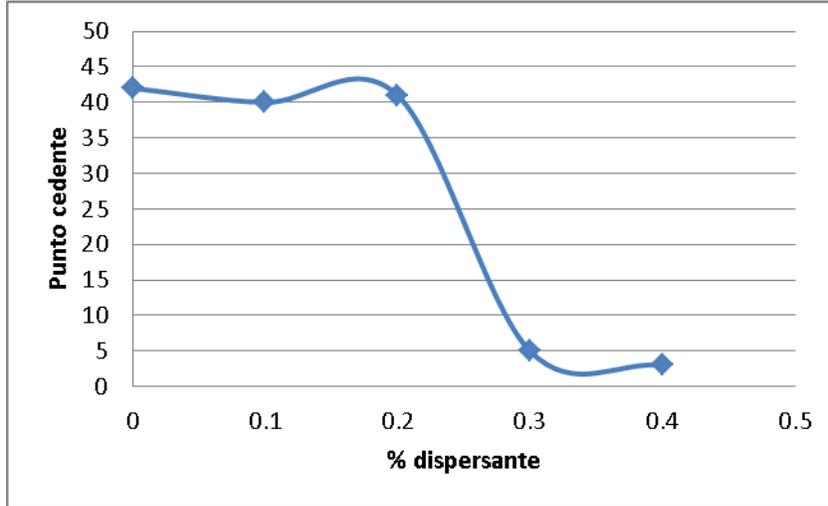


Fig.14 %Dispersante Vs. Viscosidad a 25°C
Fuente: Elaboración propia



*Fig.15 %Dispersante Vs. Punto cedente a 25°C
Fuente: Elaboración propia*

g. Efecto de los aditivos controladores de migración de gas

La invasión de gas de formación en un pozo perforado se debe principalmente a un desbalance de presión. La migración se observa con la aparición de gas en el tope o superficie del anular (gas a superficie) o por flujo de gas interzonal bajo tierra (explosión interna o internal blowout).

El gas natural es básicamente metano, sin embargo también puede contener dióxido de carbono y sulfuro de hidrogeno (gas mortal) el cual tiene una viscosidad muy baja, por lo cual migra y se mueve con mucha facilidad, debido a esto se debe tener un sellado anular perfecto.

- **Fase de transición**

Durante esta fase el cemento cambiara de su fase liquida (fluida) a su fase sólida, es así que durante esta fase la lechada pierde la habilidad de transmitir presión hidrostática, así disminuye la presión de la lechada siendo esta susceptible a la invasión de gas, también llamada (presión de poro de cemento). Sin embargo una vez pasada esta

etapa de transición la permeabilidad de este es muy baja, por lo cual el gas es incapaz de pasar a través de éste.

Otros de los motivos para proporcionar rutas y causas para la migración de gas es la siguiente:

- **Canales:**
 - Remoción deficiente del lodo entre la formación y la tubería
 - Valores elevados de agua libre propios de la lechada diseñada.
- **Pérdida de la hidrostática o hidrostática insuficiente:**
 - Encogimiento
 - Pérdida de filtrado
- **Perdida del sello entre cemento y formación:**
 - Deshidratación de la torta de filtrado
 - Encogimiento
 - Esfuerzos de fondo de pozo

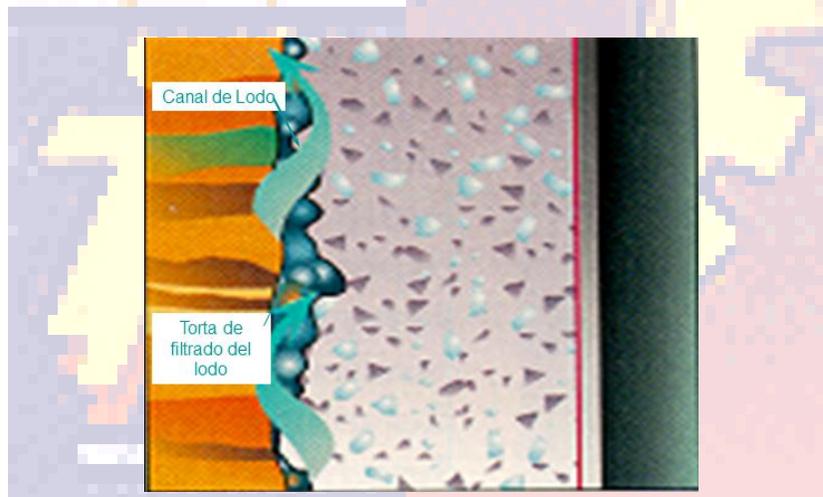


Fig.16 Remocion insuficiente de lodo

Fuente: Cementing Materials Manual Section 6 "GasBlock Cement"



Fig.17 Presión hidrostática insuficiente
Fuente: Cementing Materials Manual Section 6 "GasBlock Cement"

➤ **Rutas de migración a través de la lechada**

- Burbujas discretas
- Porciones elongadas (unión de burbujas)
- Hongo en elevación
- Percolación ^a

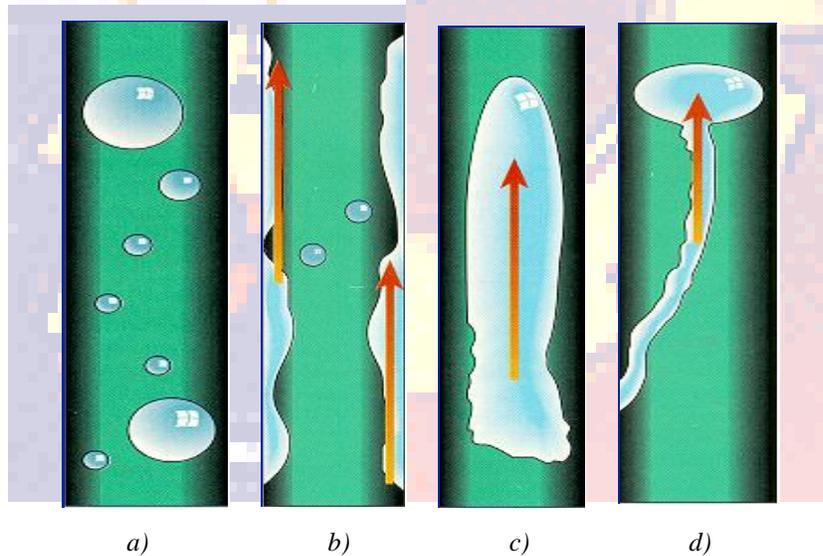


Fig.18 a) Flujo de burbujas, b) Flujo de interfase, c) Flujo de porción elongada, d) Hongo en elevación. Fig.14 Presión hidrostática insuficiente
Fuente: Cementing Materials Manual Section 6 "GasBlock Cement"

^a Burbujas de gas invaden la lechada a través de su microporosidad y fluyen a través de la porosidad de la estructura de gel sin modificarla.
En física, química y ciencia de los materiales, **percolación** se refiere al paso lento de fluidos a través de los materiales porosos

➤ Consecuencias de la migración de gas

- Falla de aislación
 - Pérdida de producción
 - Estimulación fuera de zona
 - Contaminación de formaciones vecinas
- Daño ambiental
 - Acuíferos
 - Superficie
- Reventón (Bolwout)
 - Perdida de producción
 - Peligro al personal
 - Equipo perdido o dañado

Nota: Para evitar estas situaciones es mejor prevenir.

Para este fin los aditivos utilizados están compuestos básicamente de “látex” el cual confiere propiedades impermeables al gas a las lechadas elaboradas.

El mecanismo es en el que las partículas de látex coalescen[†] y cohesionan los granos de cemento parcialmente hidratados formando una película mientras el espacio entre poros se deshidrata. La película de látex es impermeable al gas lo cual vuelve impermeable a la matriz.

Este aditivo puede tener un rango muy amplio de concentración de acuerdo a las necesidades en unidades de gal/sk.

[†] La coalescencia es la posibilidad de dos o más materiales de unirse en un único cuerpo.

➤ Métodos de Prevención

- Limpieza adecuada de formación adyacente para una buena adherencia de la lechada
- Aditivos para el control de migración de gas
- “Ángulo recto de espesamiento – endurecimiento RAS”: La lechada fragua rápidamente, no hay tiempo para que el gas invada, se reduce el periodo de transición.



Fig. 19 Fraguado gelificado y fraguado en ángulo recto RAS
Fuente: Cementing Materials Manual Section 5.D “Right Angle Set Cement”

h. Efecto de los retardadores

Los retardadores inhiben la hidratación y retrasan el endurecimiento del cemento, permitiendo el tiempo suficiente para emplazar la lechada de cemento en profundidad y elevadas temperaturas o aquellas aplicaciones que requieren largos tiempos de trabajo.

En realidad los tiempos de fraguado del cemento son originalmente implementadas al momento de su manufactura, por ejemplo el de triturar a un tamaño de partícula, controlando la composición y tasa de enfriamiento del clinker, a lo cual tiempo de retardación adicional se realiza en campo con el uso de aditivos químicos.

La tecnología de retardadores es muy amplia y su uso depende del rango de la temperatura de aplicación, presiones y profundidades respectivas.

El cómo trabajan es casi un enigma, y muchas teorías han sido propuestas. Tanto la naturaleza química del retardador y las fases del cemento (aluminato o silicato) deben ser consideradas.

Las concentraciones de los retardadores de Schlumberger usados en este trabajo no deben exceder de 0.3% BWOC.

➤ **Mecanismos de acción.-**

Cuatro teorías principales han sido propuestas para explicar el mecanismo de retardación del cemento portland:

○ **Teoría de Adsorción.-**

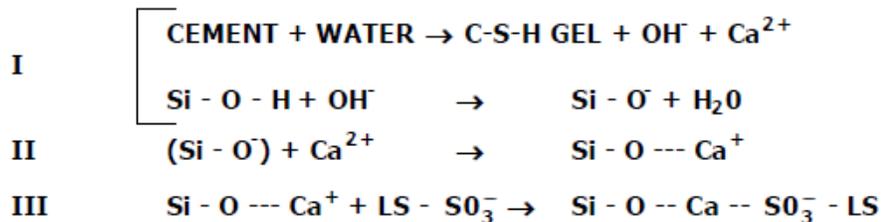
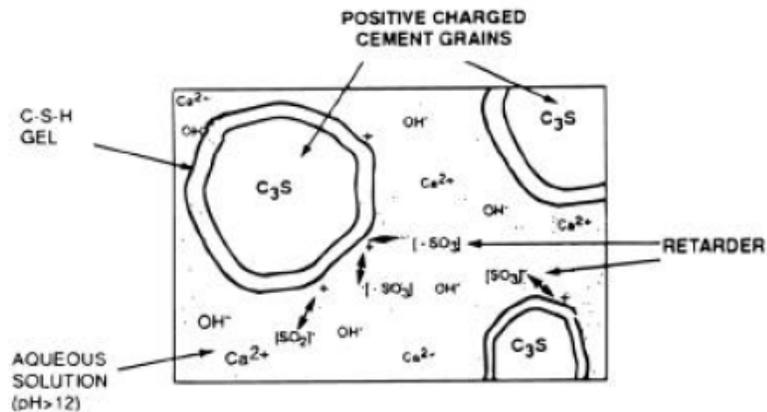
Esta teoría indica la adsorción del retardador sobre la superficie de los productos de hidratación y por ende inhibiendo el contacto con el agua.

Esta adsorción se da sobre la superficie de la formación del C-S-H gel formado alrededor de los granos de C_3S convirtiéndolo en hidrófobo.

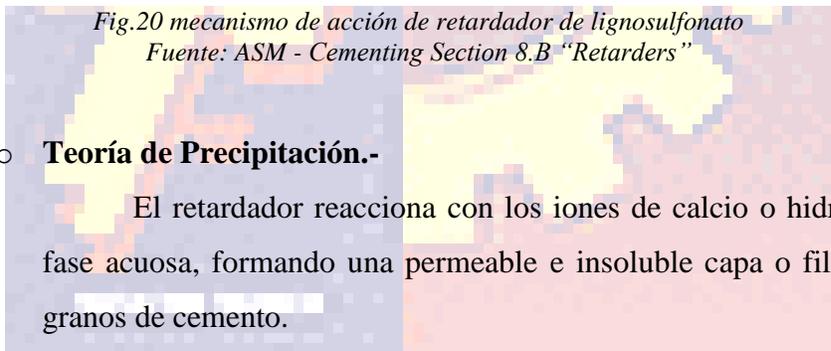
Esto también es posible ya que el retardador cambia la morfología de esta capa o film haciendo una estructura más impermeable, prolongando así el proceso de hidratación.

La hidratación de los productos del C_3A tienen un efecto más fuerte de adsorción que el C_3S . Quiere decir que la concentración del retardador en la superficie del C_3A en solución se ve reducida mucho más rápido entonces quedara muy poca concentración para retardar la hidratación en las fases restantes, es entonces que la eficiencia del retardador se verá reducida especialmente en cementos con alto contenido de C_3A .

Dicho mecanismo de retardación es aplicable a las familias de retardadores de lignosulfonatos, celulosa, sacarina y organofosfato



(Note: -LS-SO3⁻ represents a lignosulphonate retarder).



○ **Teoría de Precipitación.-**

El retardador reacciona con los iones de calcio o hidróxido en la fase acuosa, formando una permeable e insoluble capa o film sobre los granos de cemento.

Este efecto se propone al óxido de zinc, precipitando como hidróxido de zinc gel coloidal[†] sobre los granos de cemento, éste tiene

[†] En física y química un **coloide**, **sistema coloidal**, **suspensión coloidal** o **dispersión coloidal** es un sistema fisicoquímico formado por dos o más fases, principalmente: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas; por lo general sólidas. La fase dispersa es la que se halla en menor proporción. Normalmente la fase continua es un líquido, pero pueden encontrarse coloides cuyos componentes se encuentran en otros estados de agregación.

una permeabilidad muy baja, posteriormente este gel se transforma en un compuesto cristalino y el efecto retardante desaparece.

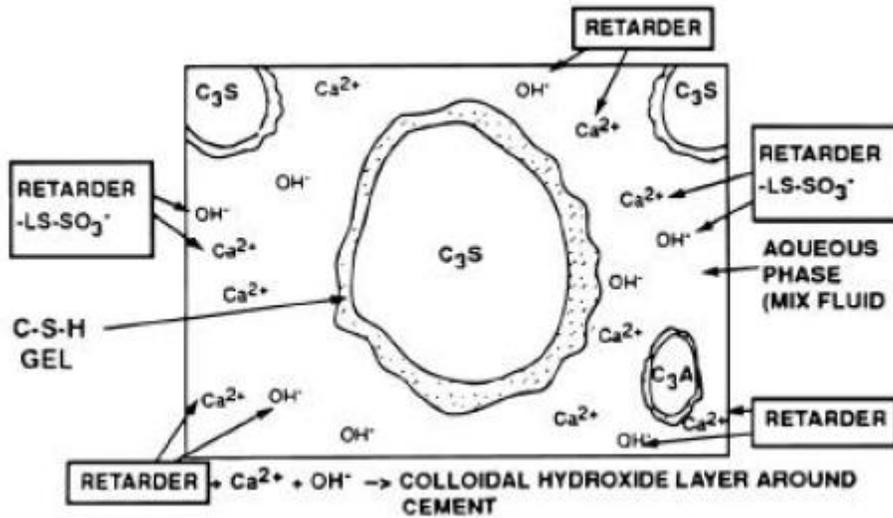


Fig.21 Modelo de retardación de lignosulfonato
Fuente: ASM - Cementing Section 8.B "Retarders"

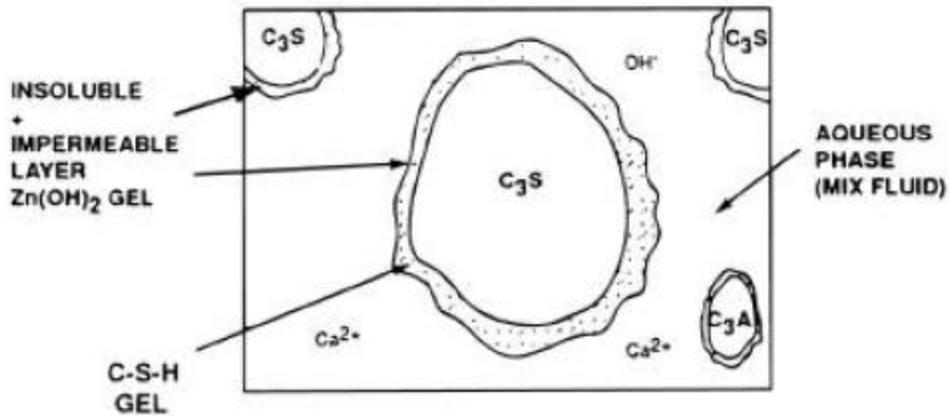


Fig.22 Modelo de retardación del óxido de zinc
Fuente: ASM - Cementing Section 8.B "Retarders"

- **Teoría de Nucleación.-** El retardador se adsorbe sobre el núcleo de los productos de hidratación envenenando su futuro crecimiento.

- **Teoría de Complejación.-** Los iones de calcio son quelados con el retardador, previniendo la formación de núcleos.

Sin retardador:

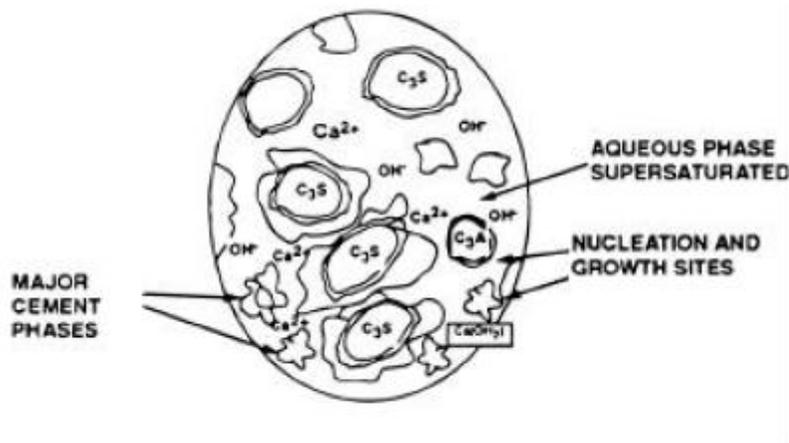


Fig.23 Modelo de fraguado de cemento sin retardador
Fuente: ASM - Cementing Section 8.B "Retarders"

Con retardador:

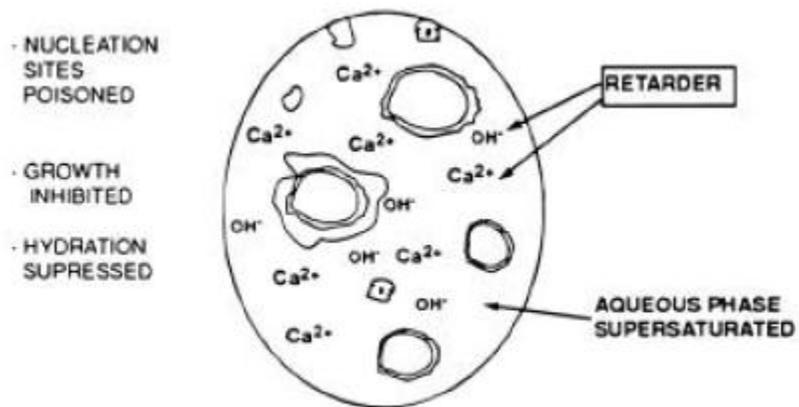


Fig.24 Modelo de fraguado con retardador
Fuente: ASM - Cementing Section 8.B "Retarders"

➤ **Las especies químicas mas utilizadas de retardadores son.-**

- **Lignosulfonatos.-** Siendo las sales de los ácidos lignosulfónicos de calcio y sodio, derivados de la pulpa de la madera. Estos son polímeros con peso molecular entre 20000 y 30000 g/mol. Usualmente no refinados y pueden contener cantidades elevadas de compuestos sacáridos, ya que los puros (refinados) tienen poco poder retardante, ya que en este caso las estructuras complejas de los carbohidratos coadyuvan con este efecto.

Su mecanismo de acción es una combinación de las teorías de adsorción y nucleación.

- **Ácidos Hidroxicarboxílicos.-** Este grupo de retardantes son sales de gluconato o glucoheptonato que ofrecen una acción retardante potente, sin embargo pueden sobreretardar el sistema con temperaturas menores a los 200°F (93°C).

El ácido cítrico también es uno de los retardantes de esta familia cuya aplicación principal es la de un fuerte dispersante y retardante, no aconsejado para su uso como este último.

Su acción retardante generalmente es atribuida a que los grupos carboxílicos son capaces de quelar fuertemente a los iones de calcio.

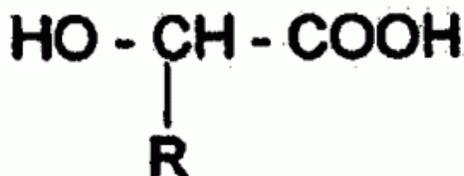


Fig.25 Molécula de un ácido hidroxicarboxílico

- **Inorgánicos.-** Dentro de estos compuestos se encuentra el cloruro de sodio, óxido de zinc y el bórax o tetra borato de sodio decahidratado ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Su mecanismo de reacción es hasta ahora desconocido.

i. Efecto de los agentes de peso

Estos aditivos son utilizados cuando son requeridos:

- Baja adsorción de agua
- Disponibilidad y costo aceptable
- Inerte
- Elevado peso específico

Lechadas de cemento de alto peso son comúnmente requeridas para mantener el control de pozo para aplicaciones especiales.

Entre las especies químicas más utilizadas están el sulfato de bario (baritina o barita) con obtención de lechadas de hasta 19ppg y la hematita (óxido de hierro) con pesos de lechadas de hasta 22 ppg y poco requerimiento adicional de agua. Como se observa el mejor agente para este propósito es la hematita.

AGENTE	SG	Agua Adicional gal/lb
Barita	4.22	0.0240
Hematita	4.95	0.0023
Cemento Clase G	3.2	0.0529

Fig.26 Tabla de comparación de gravedades específicas entre los diferentes agentes de peso
Fuente: Elaboración propia

II. RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos de los diseños de las lechadas desarrolladas en laboratorio para el pozo de la operadora BG (British Gas) denominado Palo Marcado 6. Ubicado en el departamento de Tarija y habiéndose realizado diseños y estudios para la cementación de 3 tipos de cañería son los siguientes:

1. **CAÑERÍA DE DIÁMETRO 13 3/8 PULGADAS (SUPERFICIAL)**
2. **CAÑERÍA DE DIÁMETRO 9 5/8 PULGADAS (INTERMEDIO)
(A. RELLENO; B. COLA O PRINCIPAL)**
3. **CAÑERÍA DE DIÁMETRO DE 7 PULGADAS (PRODUCCIÓN)**

Bajo las características siguientes para cada número de cañería tenemos:

1. **CAÑERÍA DE DIÁMETRO 13 3/8 PULGADAS (SUPERFICIAL)**
 - a. Profundidad 88 metros
 - b. Presión de fondo 650 PSI
 - c. Temperatura circulante de fondo (BHCT) 81°F
 - d. Temperatura estática de fondo (BHST) 84°F
 - e. Tiempo para alcanzar temperatura y presión 10 min.
 - f. Densidad de lechada 15.6 lb/gal
 - g. Cemento clase “A”
 - h. Requerimientos de resultados de pruebas de laboratorio estimados según información proporcionada por software:

Tiempo de espesamiento
>3h
Punto cedente
5<Ty<30

i. Concentración de aditivos (1)

- a. Acelerante: 1.5% BWOC
- b. Antiespumante 0.02gal/sk
- c. Dispersante 0.3% BWOC

j. Concentración de aditivos (2)

- a. Acelerante: 2.5% BWOC
- b. Antiespumante 0.02gal/sk
- c. Dispersante 0.3% BWOC

1.1. RESULTADOS

	1	1	2	2
viscosidad				
Pv (cP)		28.999		31.611
punto cedente				
Ty (lbf/100ft ²)		9.13		13.04
tiempo de espesamiento				
40 Bc		3h32m		2h53m
60 Bc		4h05m		3h40m
100 Bc		5h20m		5h13m
Fluido Libre				
0° inclinacion y 2 horas		0.5ml		0.2ml
Perdida por filtrado		N/A		N/A
Resistencia a la compresion				
12h		361PSI		361PSI
24h		922PSI		922PSI

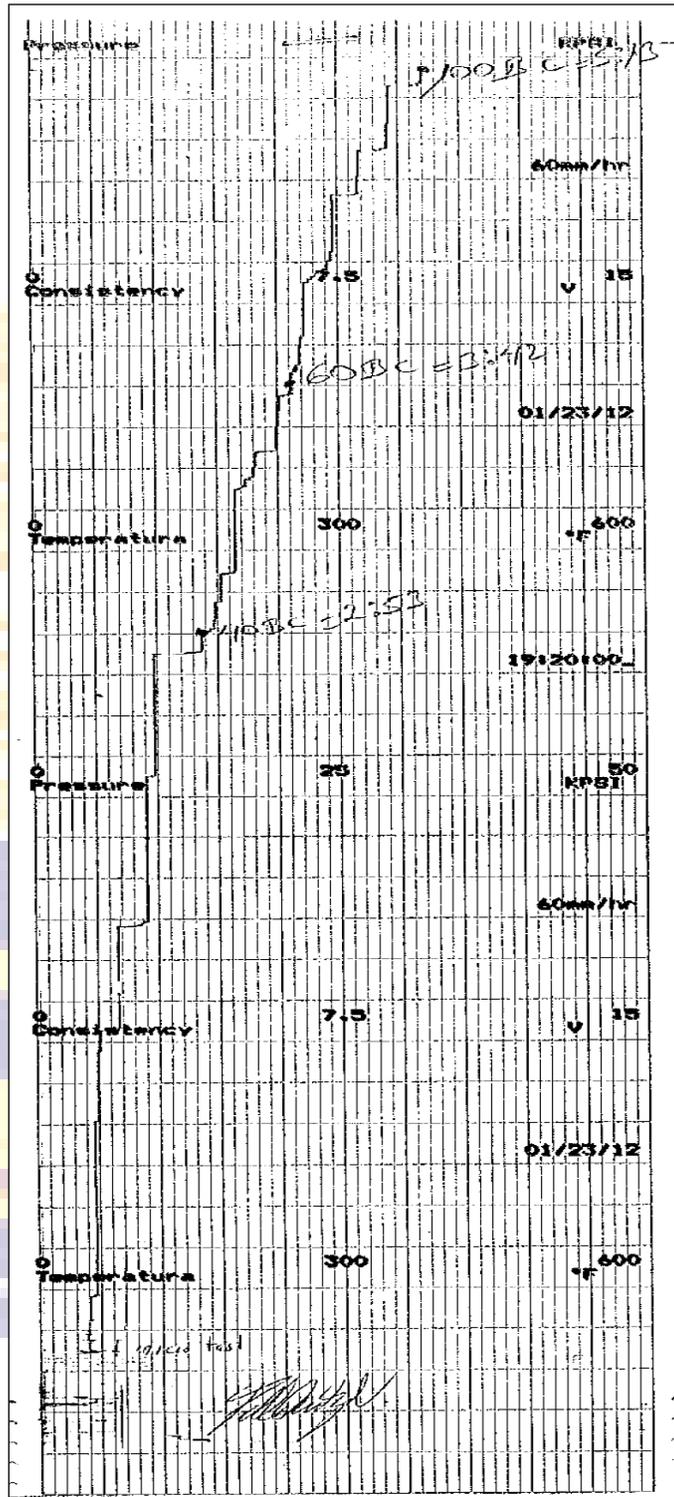


Fig.27 Tiempo de espesamiento
Fuente: Elaboración propia

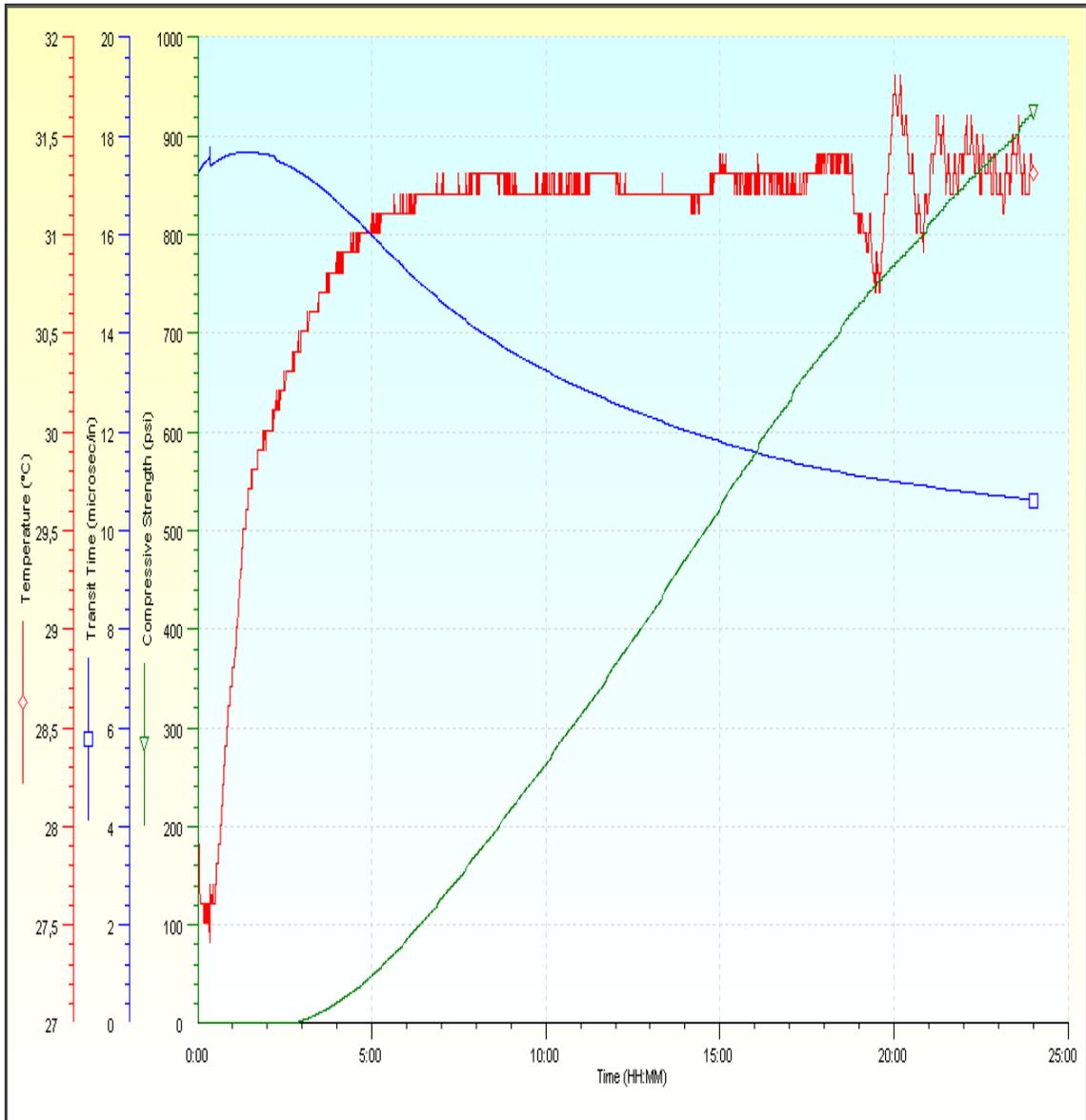


Fig.28 Gráfica del U.C.A. (Ultrasonic Cement Analyzer)
Fuente: Elaboración propia

2. **A. CAÑERÍA DE DIÁMETRO 9 5/8 PULGADAS (INTERMEDIO DE RELLENO)**

- a. Profundidad 1005 metros
- b. Presión de fondo 1913 PSI
- c. Temperatura circulante de fondo (BHCT) 96°F
- d. Temperatura estática de fondo (BHST) 116°F
- e. Tiempo para alcanzar temperatura y presión 22 min.
- f. Densidad de lechada 12.5 lb/gal
- g. Cemento clase “A”
- h. Requerimientos de resultados de pruebas de laboratorio estimados según información proporcionada por software:

Punto cedente
5<Ty<30

- i. **Concentración de aditivos (Relleno)**
 - a. Acelerante: 2.0% BWOC
 - b. Antiespumante 0.03gal/sk
 - c. Antisedimentante 0.3% BWOC
 - d. Extendedor 2.5% BWOC

2.1. A. RESULTADOS

viscosidad	
Pv (cP) a 80°F	9.058
Pv (cP) a 96°F	10.807
punto cedente	
Ty (lbf/100ft ²) a 80°F	12.64
Ty (lbf/100ft ²) a 96°F	12.78
tiempo de espesamiento	
40 Bc	13h15m
60 Bc	15h00m
100 Bc	16h30m
Fluido Libre	
0° inclinación y 2 horas	5ml

2. B. CAÑERÍA DE DIÁMETRO 9 5/8 PULGADAS (INTERMEDIO DE COLA O PRINCIPAL)

- a. Profundidad 1005 metros
- b. Presión de fondo 1913 PSI
- c. Temperatura circulante de fondo (BHCT) 96°F
- d. Temperatura estática de fondo (BHST) 116°F
- e. Tiempo para alcanzar temperatura y presión 22 min.
- f. Densidad de lechada 15.8 lb/gal
- g. Cemento clase “G”
- h. Requerimientos de resultados de pruebas de laboratorio estimados según información proporcionada por software:

Tiempo de espesamiento
>4h
Punto cedente
5<Ty<30
Fluid loss (perdida por filt.
<100ml

i. Concentración de aditivos (Cola o principal)

- a. Antiespumante 0.03gal/sk
- b. FLAC 0.450% BWOC
- c. Dispersante 0.2% BWOC
- d. Retardante 0.01gal/sk

2.1 B. RESULTADOS

viscosidad	
Pv (cP) a 80°F	99.434
Pv (cP) a 96°F	142.274
punto cedente	
Ty (lbf/100ft ²) a 80°F	13.45
Ty (lbf/100ft ²) a 96°F	14.72
tiempo de espesamiento	
40 Bc	4h02m
60 Bc	4h15m
100 Bc	4h.30m
Fluido Libre	
0° inclinacion y 2 horas	0ml
Perdida por filtrado	
se reporta según formula	40ml
Resistencia a la compresion	
12h	800PSI
24h	1750PSI

3. CAÑERÍA DE DIÁMETRO DE 7 PULGADAS (PRODUCCIÓN)

- a. Profundidad 2600 metros
- b. Presión de fondo 5271 PSI
- c. Temperatura circulante de fondo (BHCT) 150°F
- d. Temperatura estática de fondo (BHST) 182°F
- e. Tiempo para alcanzar temperatura y presión 43 min.
- f. Densidad de lechada 15.8 lb/gal
- g. Cemento clase “G”
- h. Requerimientos de resultados de pruebas de laboratorio estimados según información proporcionada por software:

Tiempo de espesamiento
>4h
Punto cedente
5<Ty<30
Fluid loss (perdida por filt.)
<50ml

i. Concentración de aditivos (Cola o principal)

- a. Antiespumante 0.05gal/sk
- b. Antisedimentante 0.350% BWOC
- c. Dispersante 0.3% BWOC
- d. Controlador de gas 2.3 gal/sk
- e. Retardante 0.065gal/sk

3.1 RESULTADOS

viscosidad	
Pv (cP) a 80°F	49.814
Pv (cP) a 150°F	59.111
punto cedente	
Ty (lbf/100ft ²) a 80°F	10.28
Ty (lbf/100ft ²) a 150°F	18.18
tiempo de espesamiento	
40 Bc	4h55m
60 Bc	5h05m
100 Bc	5h10m
Fluido Libre	
0° inclinacion y 2 horas	0ml
Perdida por filtrado	
se reporta según formula	12ml a 100PSI y 96°F
	24ml
Resistencia a la compresion	
12h	1554PSI
24h	2822PSI

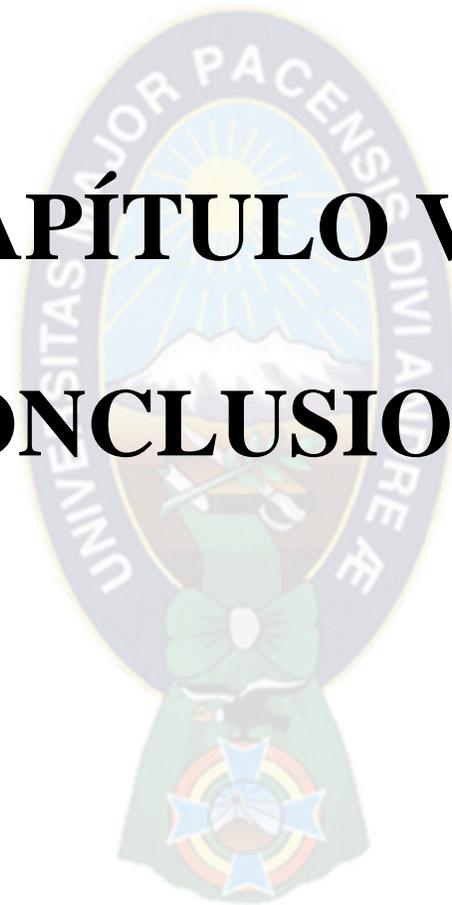
III. RESULTADOS ACADÉMICOS

Gracias al presente trabajo dirigido se pudo identificar un área donde nuestro perfil y capacidades académicas adquiridas pueden desarrollarse y ampliarse aún más. Siendo esta una industria en crecimiento y con muchísimas opciones para poder acceder al conocimiento y capacitación necesarios para poder operar equipos específicos para el uso en esta industria.

Se determinó y verificó mediante la experiencia el comportamiento de cada uno de los componentes utilizados para el propósito de construir pozos de explotación de petróleo y sus efectos en la calidad y especificaciones de un producto determinado (la cementación).

Así también se describieron equipos y procesos para el cumplimiento de las necesidades descritas en todo el contenido del presente trabajo.

CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES



I. A NIVEL EMPRESA

Debido a la inversión constante en desarrollo de tecnología, así como productos (Maquinaria, equipos, software, productos y servicios) esta empresa es capaz de modificarse y desarrollarse constantemente para poder cumplir con las normas internacionales, expectativas del cliente y operaciones estandarizadas a nivel mundial, sin embargo es de conocimiento que estos complejos donde se desarrolla la “investigación y desarrollo” (R&D) se encuentran en núcleos fuera de nuestro país, siendo solamente aplicativas en nuestro territorio.

II. A NIVEL ACADÉMICO

El presente trabajo dirigido pretende ser un aporte académico y práctico para expandir el conocimiento para aquellos que tengan la inquietud de orientarse o el simple deseo de adquirir conocimientos en el área de laboratorio en la industria petrolera y en específico para productos de cementación de pozos petroleros. Este aporte también amplía las expectativas laborales y académicas de nuestros futuros egresados y profesionales.

Se evidencio en las composiciones utilizadas que se encuentran con un margen intermedio y bajo de los niveles máximos permisibles, para con lo cual se garantiza que en un escenario negativo o imprevisto algunos de estos aditivos podrían antes de la mezcla final ser añadidos, pero sin embargo podría desatarse un caso no previsto, el cual se minimiza por medio de las herramientas necesarias y globales para este fin.



CAPÍTULO IX:
RECOMENDACIONES

I. A NIVEL ACADÉMICO

Implementar capacitación académica dirigida u orientada a las operaciones de laboratorio en el rubro del petróleo. Proveer a los estudiantes futuros del material necesario (escrito, audiovisual, virtual, electrónico) para poder familiarizarse y tener una mejor comprensión de los equipos, normas y procedimientos utilizados en este rubro. Así se asegurara de egresar profesionales más cualificados y competitivos a nivel nacional afianzando el criterio de que la “Universidad Mayor de San Andrés” forma profesionales del más alto nivel e integridad.

Así también se abre a partir de este estudio y se recomienda el desarrollo de un proyecto orientado a la capacidad de las empresas nacionales y manufactureras de cemento optar y posiblemente desarrollar productos orientados a esta industria, vale decir la producción de cementos como por ejemplo clase “G”.

ÍNDICE DE PALABRAS ABREVIADAS

Siglas

API:	American Petroleum Institute (Instituto Americano del Petróleo)
API RP:	American Petroleum Institute Recommended Practice (practica recomendada)
Bc:	Bearden Consistency (Consistencia Bearden)
BHCT:	Bottom Hole Circulating Temperature (temperatura circulante de fondo)
BHST:	Bottom Hole Static Temperature (temperatura estática de fondo)
BHP:	Bottom Hole Pressure (presión de fondo)
BWOC:	By Weight Of Cement (por peso de cemento)
cP:	Centi Poise
cm:	centímetro
PSI=lpc:	Pounds per Square Inch = Libras por Pulgadas Cuadradas
POD:	Point Of Departure (punto de partida)
ppg:	Pounds Per Gallon (libras por galón)
Pv:	Plastic viscosity (viscosidad plástica)
Ty:	yield point (punto cedente o de cedencia)
g:	gramo
s:	segundo
Pa:	Pascal
RPM:	Revolución Por Minuto
ft ² :	pie cuadrado
in:	pulgada
lbf:	libra fuerza
UCA:	Ultrasonic Cement Analyzer
ml:	Mililitro
lb/gal:	libra por galón
gal/sk:	galón por saco (bolsa de cemento)
FLAC's:	Fluid Loss Additive Controller's (controladores de perdida de fluido)
WOC:	Wait On Cement
mm:	milímetro
°F:	grado Fahrenheit
°C:	grado centígrado
H:	H ₂ O (agua)

C:	CaO (Oxido de Calcio)
S:	SiO ₂ Sílice, oxido silícico
A:	Al ₂ O ₃ Alúmina, oxido de aluminio
F:	Fe ₂ O ₃ Oxido Férrico
C ₃ A:	3 CaO•Al ₂ O ₃ Aluminato tricalcico
C ₃ S:	3 CaO• SiO ₂ Silicato tricalcico
C ₂ S:	2 CaO• SiO ₂ Silicato dicalcico
C-S-H:	CaO• SiO ₂ • H ₂ O (Hidrato de Silicato Cálcico)





CAPÍTULO X:
BIBLIOGRAFÍA

- ASM - Cementing Section 8.B “Retarders”
Schlumberger (documento no editado) 2001
- ASM - Cementing Section 8.C “Extenders”
Schlumberger (documento no editado) 1993
- ASM - Cementing Section 8.D “Dispersants”
Schlumberger (documento no editado) 2001
- “Cement Laboratory Testing Requirements”
Schlumberger (documento de entrenamiento interno) 2001
- Cementing Materials Manual Section 5.D “Right Angle Set Cement”
Schlumberger (documento no editado) 1999
- Cementing Materials Manual Section 6 “GasBlock Cement”
Schlumberger (documento no editado) 2011
- Cementing Materials Manual Section 6.A.2 “Fluid Loss”
Schlumberger (documento no editado) 1999
- Cementing Materials Manual Section 10.A “Calcium Chloride”
Schlumberger (documento no editado) 1999
- Cementing Materials Manual Section 12.A “A Guide to Fluid-Loss Additives”
Schlumberger (documento no editado) 1999
- Cementing Materials Manual Section 16.C “Antifoam Agents”
Schlumberger (documento no editado) 2000
- Cementing Materials Manual Section 16.D “Antisettling Agents”
Schlumberger (documento no editado) 1999
- Perry’s Chemical Engineers’ handbook
Robert H. Perry 1999

- <http://es.wikipedia.org/wiki/Percolaci%C3%B3n>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Coalescencia>
- <http://www.chem1.com/acad/webtext/states/states.html>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Transductor>
- <http://www.ehu.es/acustica/espanol/electricidad/transes/transes.html>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Termopar>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Seebeck
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Silo>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Cavitaci%C3%B3n>
- <http://www.glossary.oilfield.slb.com/Display.cfm?Term=wait%20on%20cement>
- <http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20070522154424AAQ4j9I>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Coloide>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Constant%C3%A1n>