

CEMENTACIÓN DE POZOS PETROLEROS

FOLD-AND-THRUST BELT
GEOLOGY IN CUBA

Oil reservoir



UNIDAD I

MATERIALES DE CEMENTACIÓN

FOLD-AND-THRUST BELT
GEOLOGY IN CUBA

Oil reservoir

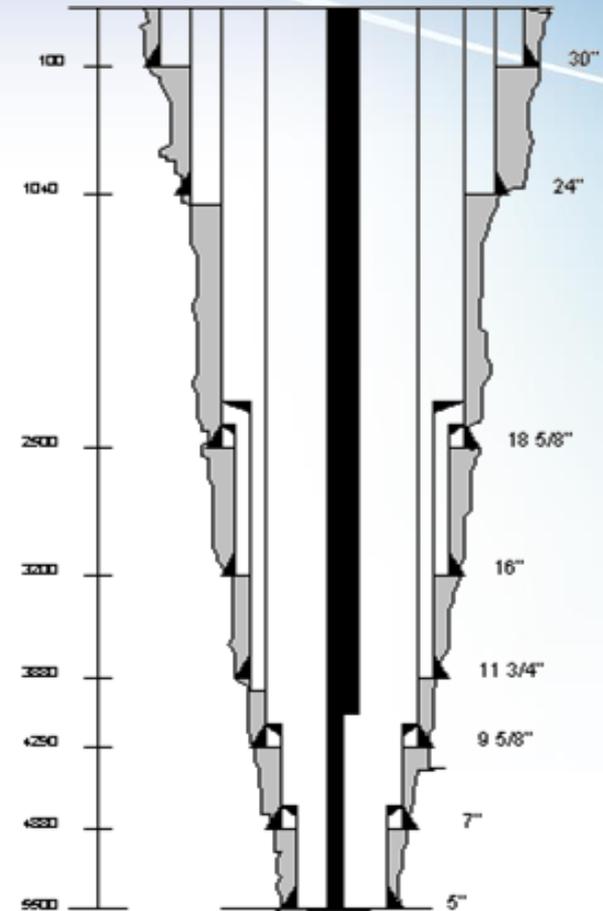


INTRODUCCIÓN

La cementación de pozos es el proceso por el cual se inyecta en un pozo una lechada de cementación con el fin de lograr ciertos objetivos. Los principales tipos de cementación incluyen: la cementación de los liners y las tuberías de revestimiento, la colocación de tapones de cementación y la realización de trabajos de reparación de cemento.

El proceso de cementación incluye la preparación de la lechada, que se compone de cemento en polvo, agua, y aditivos químicos para controlar las propiedades del cemento.

Luego de mezclada, la lechada se bombea al pozo mediante bombas de alta presión.



FOLD-AND-THRUST BELT
GEOLOGY IN CUBA

Oil reservoir



INTRODUCCIÓN

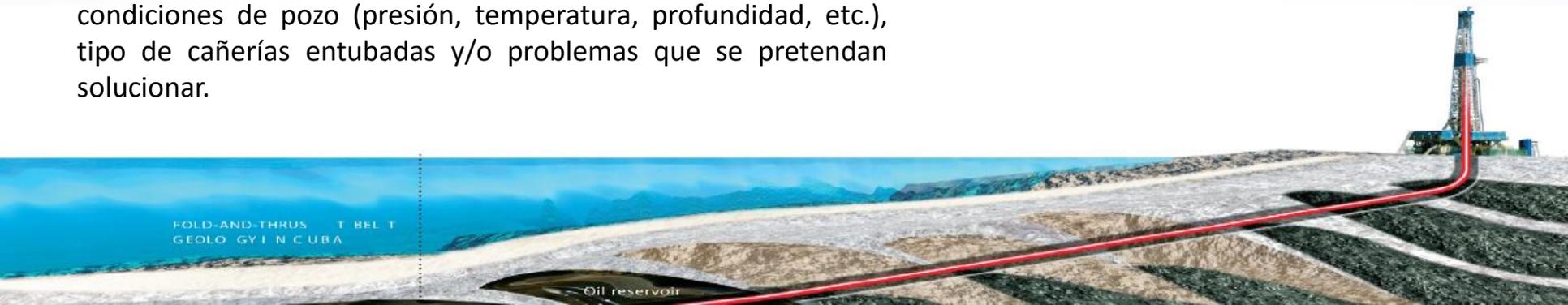
CEMENTO

Son sustancias adhesivas y cohesivas, es decir capaz de unir fragmentos de masas o de materiales sólidos en un todo compacto, tal definición involucra a un gran número de materiales o sustancias diferentes, teniendo muy poco en común una con otra, salvo su adhesividad, teniendo cada una de ellas importancia técnica diferente.

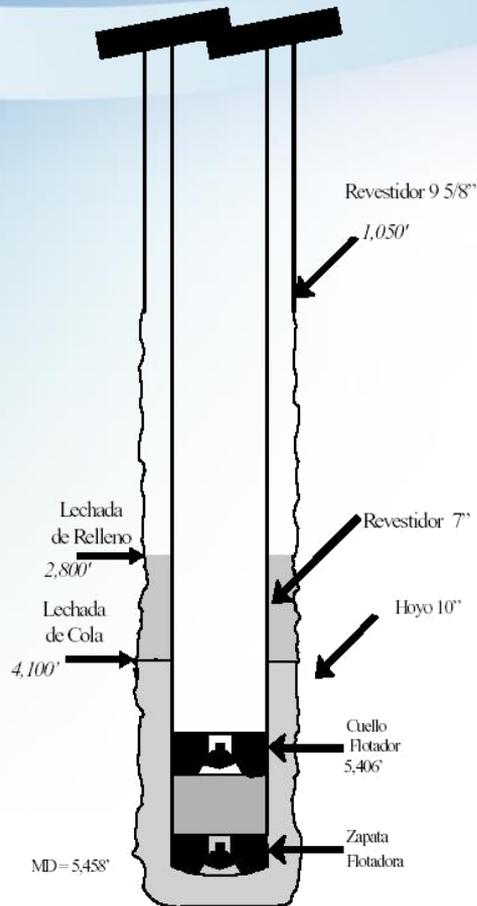
Los cementos que se usan en la industria petrolera son mezclas de compuestos de cal, por eso la forma correcta de referirse a este tipo de cementos es hablar de cementos calizos.

LECHADAS DE CEMENTO

Se denomina así a las suspensiones de cemento en agua a las que se adicionan diferentes sustancias llamadas aditivos según las propiedades que se pretenden alcanzar, de acuerdo a las condiciones de pozo (presión, temperatura, profundidad, etc.), tipo de cañerías entubadas y/o problemas que se pretendan solucionar.



INTRODUCCIÓN



Las dos principales funciones del proceso de cementación primaria son:

- Restringir el movimiento de fluido entre las formaciones
- Adherir y sostener la cañería.

En adición el aislamiento de zonas productoras de petróleo, gas y agua, el cemento también ayuda a:

1. Proteger la cañería de la corrosión
2. Prevenir reventones mediante la rápida formación de un sello.
3. Proteger la cañería de impactos de cargas en perforaciones más profundas.
4. Sellar zonas de pérdida de circulación, o zonas ladronas (que absorben el fluido).

CONCEPTOS BÁSICOS

Densidad de lechada.

Es el peso por unidad de volumen de una lechada de cemento, que suele darse en unidades de kg/m^3 o lbm/gal .

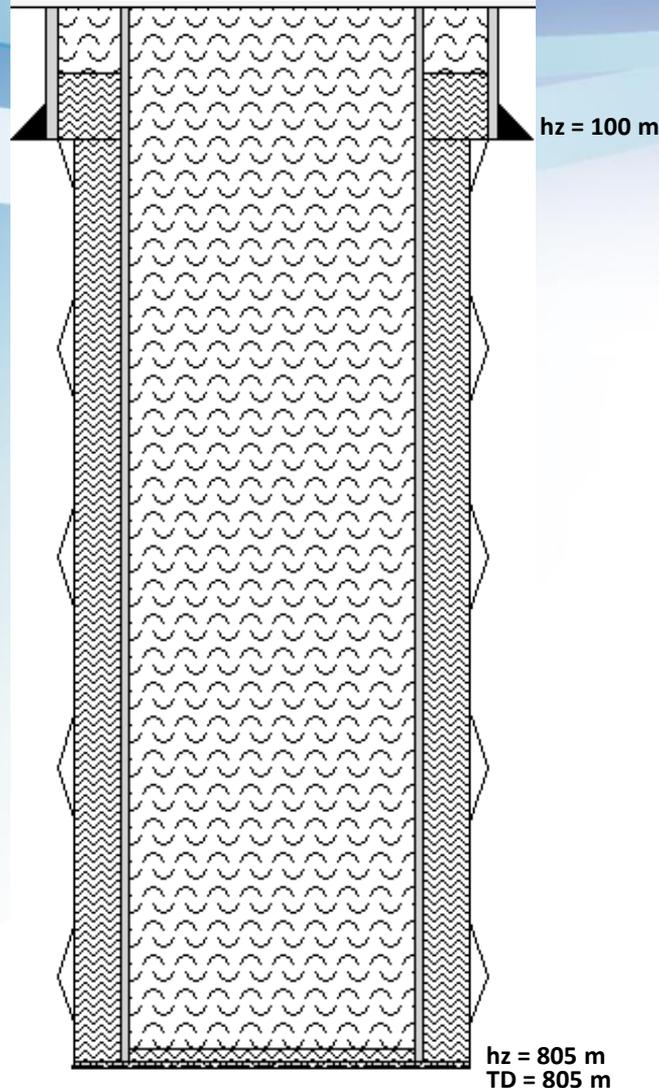
Rendimiento de lechada.

Es el volumen de lechada obtenido cuando un saco de cemento se mezcla con la cantidad deseada de agua y otros aditivos, que suele darse en unidades de bbl/sk o pie^3/sk .

Requerimiento de Agua

Es el volumen de agua que se requiere para preparar la lechada obtenido por cada saco de cemento se mezcla con la cantidad deseada de agua y otros aditivos, que suele darse en unidades de gal/sk o pie^3/sk .

EJERCICIO



Se tiene programado cementar una cañería superficial de 13 3/8" x 12,615" la cual está asentada a la profundidad de 800 m. La profundidad del pozo es de 805 m y el diámetro del agujero es de 17 1/2" con un ensanchamiento promedio de 5%. El collar flotador se encuentra una pieza encima del zapato de la cañería. Para preparar la lechada se utilizará cemento clase A y 46% de agua. El tope de la lechada está en los 50 m. La lechada se desplazará con el mismo lodo que se tenía, cuya densidad es de 10 ppg. La cañería guía de 20"x19" está asentada a la profundidad de 100 m. Determinar:

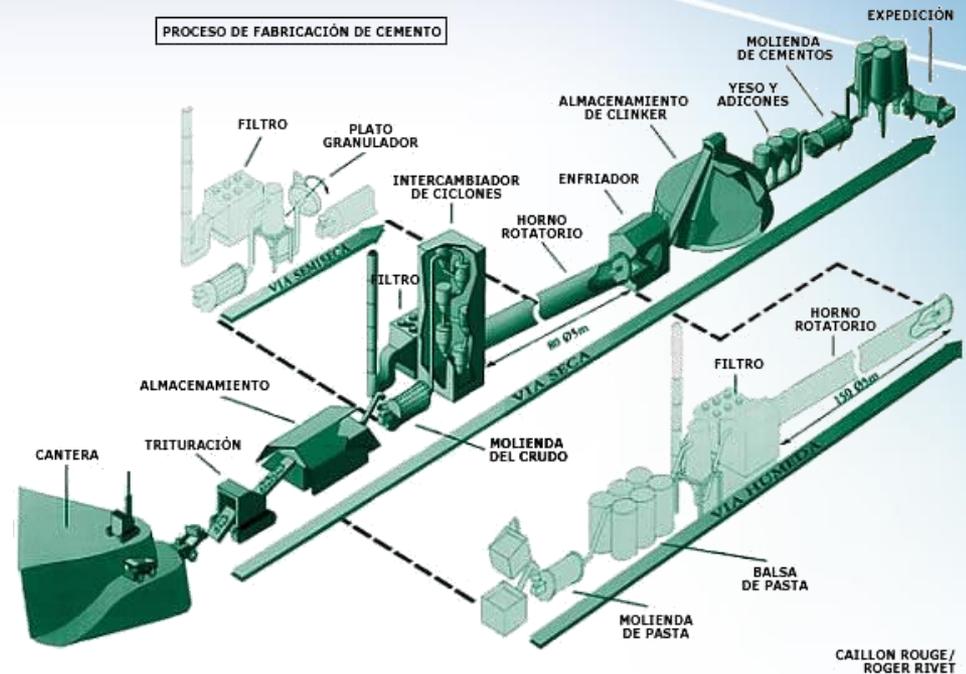
- La densidad de la lechada.
- El rendimiento de la lechada.
- El requerimiento de agua.
- El volumen de lechada.
- El número de sacos de cemento a utilizar.
- Los bbl de agua necesarios para preparar toda la lechada.
- El volumen de lodo para desplazar la lechada.
- La presión de la bomba para desplazar la lechada.
- La presión Hidrostática en el fondo del pozo.
- Si la gradiente de fractura del fondo del pozo es de 0,7 psi/ft se fractura la formación?

MATERIALES DE CEMENTACION

OBTENCIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

Es el principal constituyente para cementar la mayoría de los pozos petroleros. Es un producto de la calcinación y sus principales constituyentes son: Clinker y Yeso (Sulfato de Calcio) en una proporción de (95 -97 %)/ (5 -3 %).

En la manufactura del cemento Pórtland, se mezclan las cantidades apropiadas de materiales: caliza con arcillas, la relaciones de masa dependen de la calidad y tipo de los materiales (2:1 , 1:3/4). Se calientan en un horno hasta aproximadamente 1350º C, donde ocurre la deshidratación, descarbonización y las reacciones químicas, formando así el Clinker. El clinker molido y mezclado con cierta cantidad de yeso forma el producto conocido como cemento Pórtland.



FOLD-AND-THRUS T BEL T
GEOLO GYI N CUBA

Oil reservoir

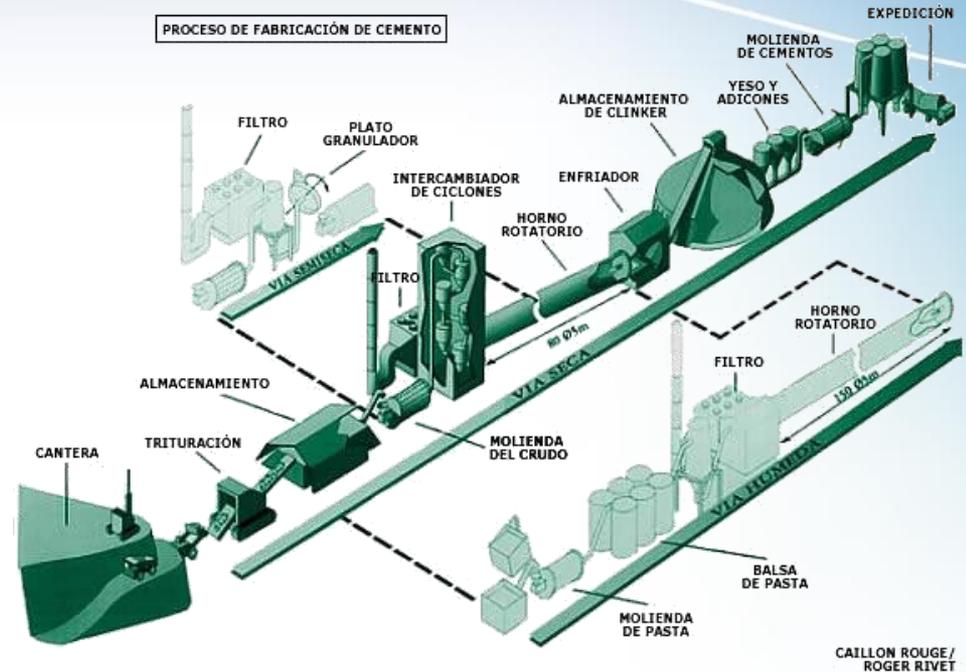
MATERIALES DE CEMENTACION

OBTENCIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

El yeso tiene la finalidad de darle características hidráulicas al Clinker, retardar su tiempo de endurecimiento e incrementar su resistencia.

El exceso de agua que no se utiliza durante la hidratación de los componentes del clinker, hace que el cemento fraguado pierda su resistencia, lo hace mas poroso y permeable.

La composición química del cemento varía, pero en general, esta compuesto de diferentes porcentajes de materiales como el silicato tricálcico, aluminato tricálcico, el silicato dicálcico, ferro-aluminato tetracálcico, yeso y magnesio.

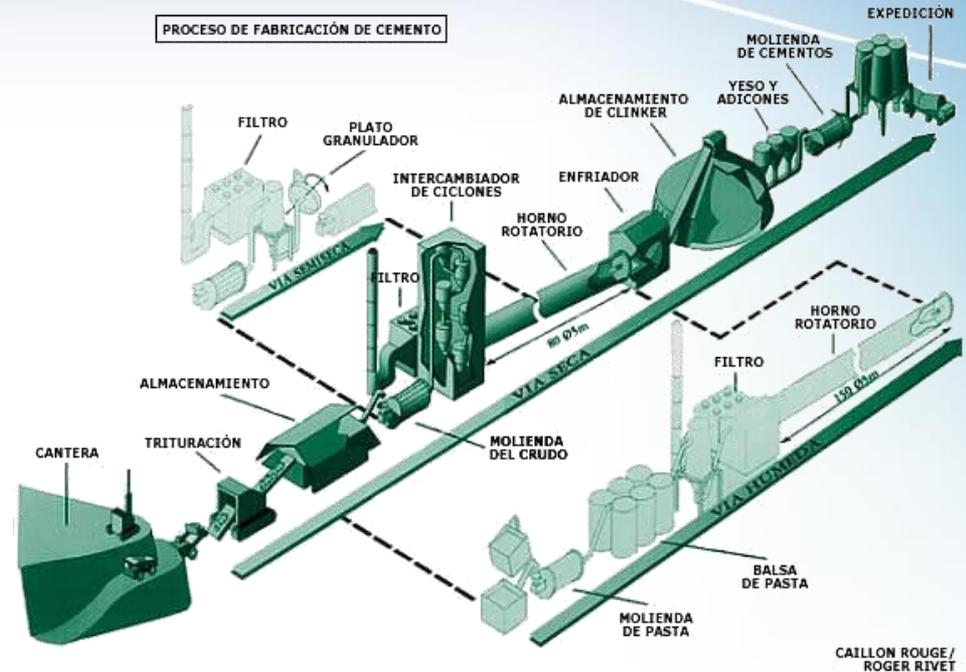


MATERIALES DE CEMENTACION

OBTENCIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

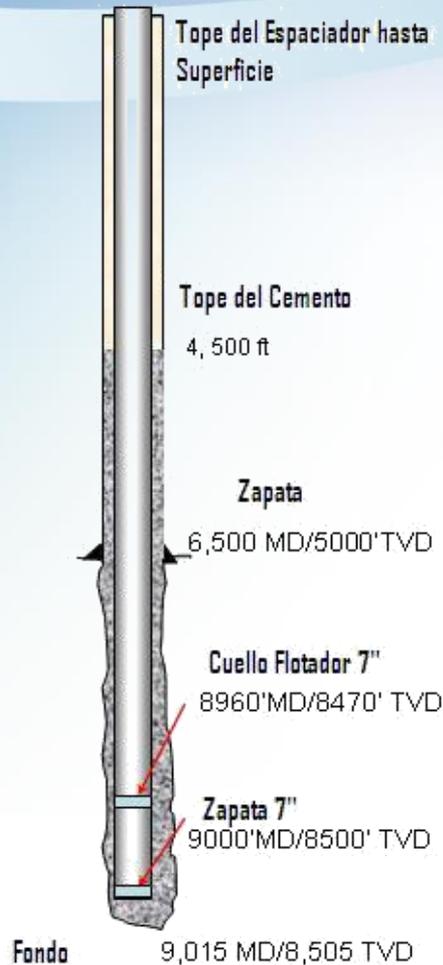
El silicato tricálcico y aluminato tricálcico, reaccionan rápidamente con el agua y son los constituyentes principales de la característica de alta resistencia del cemento; el silicato dicálcico y el ferroaluminato tetracálcico, reaccionan más despacio y contribuyen al incremento lento del fraguado del cemento; el yeso se utiliza para controlar la velocidad de reacción del aluminato tricálcico. El magnesio es un elemento indeseable y su porcentaje se mantiene lo más bajo posible, reacciona con el agua aunque muy despacio para formar hidróxido de magnesio.

Si el cemento tiene muy alto porcentaje de magnesio, esto causará grietas; también por lo general, se encuentra presente cal viva en el cemento Pórtland hasta cierto porcentaje; pero ésta también reacciona despacio con el agua para causar expansión del cemento, la cantidad también se mantiene al mínimo.



MATERIALES DE CEMENTACION

CONDICIONES DEL CEMENTO PARA USARLO EN CEMENTACIONES DE POZOS PETROLEROS



- La lechada del cemento debe ser capaz de colocarse en la posición deseada por medio de equipo de bombeo desde la superficie.
- Después de colocado, debe adquirir suficiente fuerza en un tiempo razonablemente corto, para que el tiempo de espera de fraguado pueda reducirse al mínimo.
- El cemento debe ser un sello permanente entre la tubería de revestimiento y la formación.
- Debe tener fuerza suficiente para evitar fallas mecánicas.
- Debe ser químicamente inerte a cualquier formación y al fluido con el que se pueda poner en contacto.
- Debe ser suficientemente estable para no deteriorarse, descomponerse o de alguna otra forma perder sus cualidades.
- Debe ser suficientemente impermeable para que los fluidos no se filtren a través de él cuando haya fraguado.

CLASIFICACIÓN API DE LOS CEMENTOS

CLASE A.- Dirigido para el empleo desde la superficie hasta los 6000 pies de profundidad, cuando no se requieren propiedades especiales..

CLASE B.- Dirigido para el empleo desde la superficie hasta los 6000 pies de profundidad, cuando las condiciones requieren de moderada a alta sulfato resistencia.

CLASE C- Dirigido para el empleo desde la superficie hasta los 6000 pies de profundidad, cuando las condiciones requieren de un alto endurecimiento temprano.

CLASE D.- Dirigido para el empleo desde los 6000 a los 10000 pies de profundidad, bajo condiciones de moderadas presiones y temperaturas. Disponible en ambos tipos: moderadamente y altamente resistentes al sulfato.

CLASE E.- Dirigido para el empleo desde los 10000 a 14000 pies de profundidad, bajo condiciones de altas presiones y temperaturas. Disponible en ambos tipos: moderadamente y altamente resistentes al sulfato.



CLASIFICACIÓN API DE LOS CEMENTOS

CLASE F.- Dirigido para el empleo desde los 10 000 a 16 000 pies de profundidad, bajo condiciones de extremadamente altas presiones y temperaturas. Disponibles en ambos tipos: moderadamente y altamente resistentes al sulfato.

CLASE G.- Dirigido para su empleo como un cemento básico de pozo desde la superficie a los 8000 pies de profundidad, o puede ser usado con aceleradores y retardadores para cubrir un amplio rango de profundidades de pozos y temperaturas. Disponibles en ambos tipos: moderadamente y altamente resistentes al sulfato.

CLASE H.- Dirigido para su empleo como un cemento básico de pozo desde la superficie a los 8000 pies de profundidad, o puede ser usado con aceleradores y retardadores para cubrir un amplio rango de profundidades de pozos y temperaturas. No adicionar otros aditivos más que el sulfato de calcio o el agua, o ambos, que pueden ser mezclados con el clinker durante la fabricación del cemento para pozo Clase H. Disponibles en ambos tipos: moderadamente y altamente resistentes al sulfato.



CLASIFICACIÓN API DE LOS CEMENTOS

TABLA 2.5 - Aplicaciones de las Clases de Cemento API

Clasificación API	Mezcla con Agua (gal/saco)*	Peso de la Lechada (lbm/gal)	Profundidad del Pozo (pies)	Temperatura Estática (°F)
A (Portland)	5,2	15,6	0 a 6.000	80 a 170
B (Portland)	5,2	15,6	0 a 6.000	80 a 170
C (Rápido Endurecimiento)	6,3	14,8	0 a 6.000	80 a 170
D (Retardado)	4,3	16,4	6.000 a 12.000	170 a 260
E (Retardado)	4,3	16,4	6.000 a 14.000	170 a 290
F (Retardado)	4,3	16,2	10.000 a 16.000	230 a 320
G (Básico)**	5,0	15,8	0 a 8.000	80 a 200
H (Básico)**	4,3	16,4	0 a 8.000	80 a 200

* Ver tabla 2,8 para los pesos y volúmenes de los sacos de cemento
 ** Puede ser acelerado o retardado para la mayoría de las condiciones de pozo

CEMENTO CLASE API	% DE AGUA POR PESO DE CEMENTO	AGUA (gal/saco)
A, B	46	5,19
C	56	6,32
D, E, F, H	38	4,29
G	44	4,97



TABLA 2.8.- Propiedades Físicas de Varios Tipos de Cemento

Propiedades de las clases de Cemento API								
		Clase A	Clase C	Clases G y H	Clases D y E			
Gravedad Específica (aproximada)		3.14	3.14	3.15	3.16			
Área de superficie (rango), cm ² /g		1 500 a 1 900	2 000 a 2 800	1 400 a 1 700	1 200 a 1 600			
Peso por saco, lbm		94	94	94	94			
Volumen de masa, Ft/saco		1	1	1	1			
Volumen Absoluto, gal/saco		3.6	3.6	3.58	3.57			
Propiedades de Lechada Pura								
		Portland	Alto Endurecimiento Temprano	Clase G API	Clase H API	Retardado		
Agua, gal/saco (API)		5.19	6.32	4.97	4.29	4.29		
Peso de la Lechada, lbm/gal		15.6	14.8	15.8	16.5	16.5		
Volumen de la lechada gal/saco		1.18	1.33	1.14	1.05	1.05		
Temperatura (°F)	Presión (psi)	Típica Dureza Compresiva (psi) a 24 horas						
60	0	615	780	440	325	*		
80	0	1 470	1 870	1 185	1 065	*		
95	800	2 085	2 015	2 540	2 110	*		
110	1 600	2 925	2 705	2 915	2 525	*		
140	3 000	5 050	3 560	4 200	3 160	3 045		
170	3 000	5 920	3 710	4 830	4 485	4 150		
200	3 000	*	*	5 110	4 575	4 775		
		Típica Dureza Compresiva (psi) a 72 horas						
60	0	2 870	2 535	-	-	*		
80	0	4 130	3 935	-	-	*		
95	800	4 670	4 105	-	-	*		
110	1 600	5 840	4 780	-	-	*		
140	3 000	6 550	4 960	-	7 125	4 000		
170	3 000	6210	4 460	5 685	7 310	5 425		
200	3 000	*	*	7 360	9 900	5 920		
Profundidad (ft)	Temperatura (°F)		Tiempo de Espesamiento a alta Presión (horas:minutos)					
	Estática	Circulante						
2 000	110	91	4:00+	4:00+	3:00+	3:57	*	
4 000	140	103	3:26	3:10	2:30	3:20	4:00+	
6 000	170	113	2:25	2:06	2:10	1:57	4:00+	
8 000	200	125	1:40+	1:37+	1:44	1:40	4:00+	

*Generalmente no recomendado a esta temperatura

CLASIFICACIÓN API DE LOS CEMENTOS

FOLD-AND-THRUST BELT
GEOLOGICAL CUBA

Oil reservoir



ADITIVOS DE CEMENTACIÓN

BENTONITA

Muchas formaciones no soportan las largas columnas de cemento de alta densidad. Consecuentemente los aditivos como la bentonita son usados para disminuir la densidad de la lechada, de esta manera hace que la lechada sea más barata, incrementa el rendimiento de la lechada, y algunas veces baja la pérdida de filtrado.

La bentonita imparte propiedades de viscosidad y tixotropía para agua fresca por elevación de unas 10 veces su volumen original. Fue uno de los primeros aditivos usado en los cementos de los pozos petroleros para bajar la densidad de la lechada e incrementar su volumen .

El agregado de bentonita al cemento requiere del agregado de agua; por cada 1% de bentonita, tenemos que agregar 5.3 % de agua. (este valor puede variar con la calidad de la bentonita).



Tabla 3.38 – Sumario de Aditivos de cementacion de pozos petrolíferos

Tipo del aditivo	Uso	Composición química	Beneficios	Tipo de Cemento
<p>Aceleradores</p>	<p>Reducen del tiempo de WOC</p> <p>Se colocan en la superficie de la tubería</p> <p>Se colocan en tapones de cemento</p> <p>Combaten perdida de circulacion</p>	<p>Clorhidrato de calcio</p> <p>Clorhidrato de sodio</p> <p>Gypsum</p> <p>Silicato de sodio</p> <p>Dispersantes</p> <p>Agua de mar</p>	<p>Colocación acelerada</p> <p>rápida y temprana resistencia</p>	<p>Todas las clases API</p> <p>Puzonlanicos</p> <p>Sistemas diesel</p>
<p>Retardadores</p>	<p>Incrementan el tiempo de engrosamiento para el colocado</p> <p>Reducen la viscosidad de la lechada</p>	<p>Lignosulfonatos</p> <p>Ácidos orgánicos</p> <p>CMHEC</p> <p>Lignosulfonatos modificados</p>	<p>Incrementan el tiempo de bombeabilidad</p> <p>Mejores propiedades de fluido</p>	<p>Cementos API: D, E, G, H</p> <p>Puzolanicos</p> <p>Sistemas diese</p>
<p>Aditivos reductores de peso</p>	<p>Reducen el peso</p> <p>Combaten la perdida de circulación</p>	<p>Bentonita – atapulguita</p> <p>Gilonita</p> <p>Tierra diatomeas</p> <p>Perlita</p> <p>Puzolanas</p> <p>Micro esferas (esferas de vidrio)</p> <p>Nitrógeno (cemento espumantes)</p>	<p>Peso más liviano</p> <p>Economía</p> <p>Mejor llenado</p> <p>Menor densidad</p>	<p>Todos cementos API</p> <p>Puzolanicos</p> <p>Sistemas diesel</p>
<p>Aditivos aumenta el peso</p>	<p>Combate las altas presiones</p> <p>Incrementan el peso de la lechada</p>	<p>Hematita</p> <p>Limonita</p> <p>Baritina</p> <p>Arena</p> <p>dispersantes</p>	<p>Mayor densidad</p>	<p>Cementos API D, E, G, H</p>

ADITIVOS DE CEMENTACIÓN

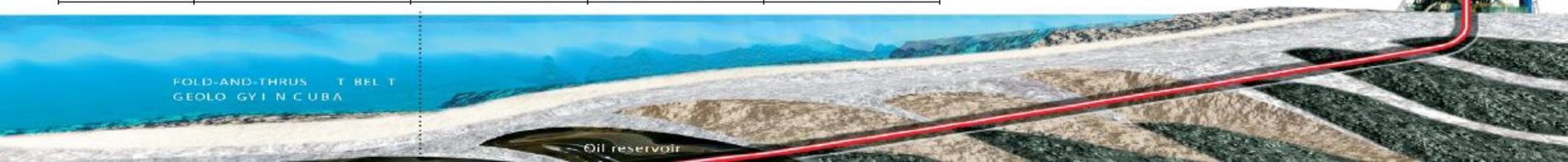


Tabla 3.38 – Sumario de Aditivos de cementacion de pozos petrolíferos

Tipo del aditivo	Uso	Composición química	Beneficios	Tipo de Cemento
Aditivos para el control de pérdida de circulación	Taponamiento Incremento del llenado Combate perdida circulación Rápidos sistemas de colocado	Gilsonita Cáscara de nuez Hojuelas de celofán Cemento gypsum Bentonita / diesel petróleo Fibra de nylon Aditivos tixotropicos	Fractura taponadas Columna de fluido más liviana Zonas fracturadas presurizadas Tratamiento de perdida de circulación	Todos cementos API Puzolanicos Sistemas diesel
Aditivos para el control de filtrado	Cementacion presurizada Colocación de largos liners Cementacion en formaciones sensitivas con agua	Polimeros Dispersantes Cloruro de sodio lignosulfonatos	Reduce la deshidratación Menor volumen de cemento Mejor llenado	Todos cementos API Puzolanicos Sistemas diesel
dispersantes	Reducción de la potencia hidráulica Densificación de las lechadas de cemento para taponamiento Imparte propiedades de flujo	Ácidos orgánicos Polímeros Cloruro de sodio lignosulfonatos	Lechadas delgadas Decrecimiento perdida de fluido Mejor remoción del lodo Mejor colocación	Todas cementos API Puzolanicos Sistemas diesel

ADITIVOS DE CEMENTACIÓN



FOLD-AND-THRUST BELT
GEOLOGY IN CUBA

Oil reservoir

PREPARACIÓN DE LA LECHADA (LABORATORIO)

EQUIPOS UTILIZADOS:

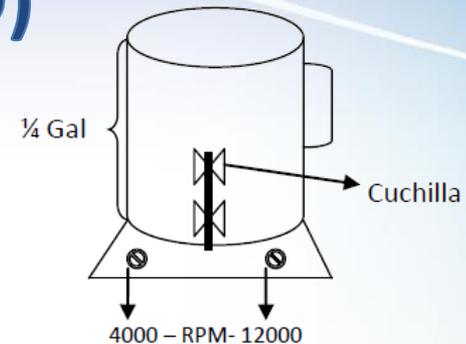
- Balanza que pese con una precisión de 0.2 grs para pesar la masa de cemento
- Los volúmenes de agua deben medirse en probetas
- Mezcladora de 2 velocidades.

PREPARACIÓN

La Lechada se prepara en la mezcladora que tiene una capacidad de $\frac{1}{4}$ gal. (≈ 1 lt.) el recipiente es de material resistente a la corrosión, las cuchillas deben cambiarse cada vez que pierda el 10% de su peso.

Las muestras del cemento deben ser tamizadas por una malla # 30. Todo material retenido debe ser separado y expresado en % P/P.

- El agua y el cemento para ensayos de referencia debe estar libre de CO₂ deben tener una temperatura de 80°F + 5°F.

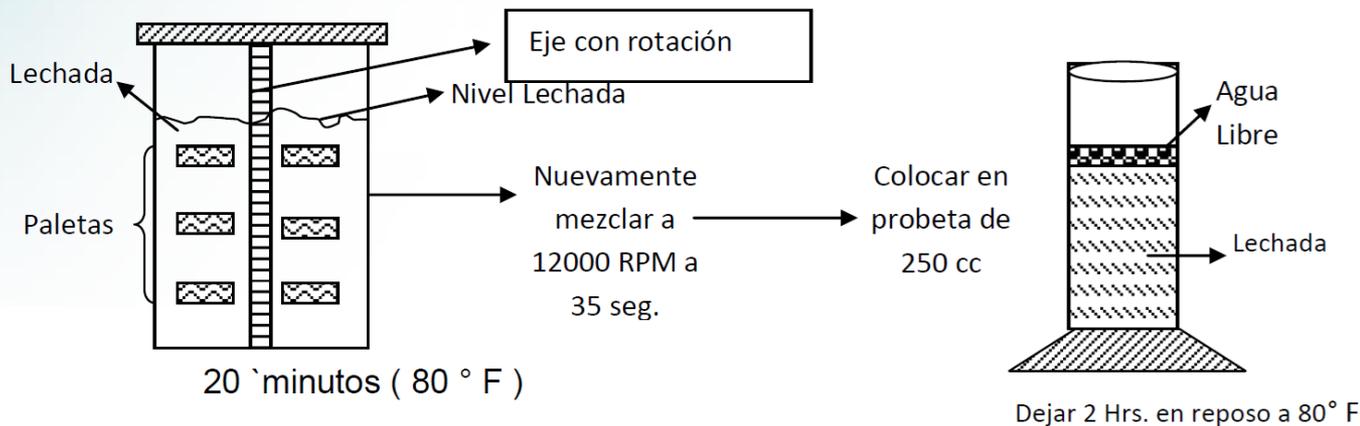


CEMENTO CLASE API	% DE AGUA POR PESO DE CEMENTO	AGUA (gal/saco)
A, B	46	5,19
C	56	6,32
D, E, F, H	38	4,29
G	44	4,97

PRUEBAS DE LABORATORIO PARA CEMENTACIONES

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA LIBRE

Una vez que se ha preparado la lechada en el mezclador, se le agita en un consistómetro a presión atmosférica; se vuelve a pasar por el mezclador, y luego se le deja en un cilindro de vidrio graduado de 250 ml, perfectamente tapado para evitar la evaporación. Al cabo de dos horas de reposo, se habrá acumulado agua en la parte del recipiente, ese volumen de agua expresado en mililitros, es el contenido de agua libre de la lechada.



Para los cementos clase G y H, no debe exceder al 1.4 %. Para los otros tipos de cemento no hay requisitos.

PRUEBAS DE LABORATORIO PARA CEMENTACIONES

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA LECHADA

Se utiliza una balanza para todos que puede ser presurizada o no. En el laboratorio se pondrá especial cuidado en eliminar todo el aire contenido en la muestra de cemento.



PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Se vierte la lechada en una serie de moldes, cubos de 1 pulgada por lado y se les coloca en un baño de agua corriente a la temperatura requerida por la prueba durante 8, 12, 18, 24, 36, 48 o 72 horas. Una vez que se retiran los cubos del baño se les coloca, inmediatamente en una prensa hidráulica que incrementa la carga entre 1 000 y 4000 Psi por minuto. Cuando se rompe el cubo, se lee la máxima presión obtenida en la escala y esa será el valor de la resistencia a la compresión. Se deberá repetir la operación con varias muestras y luego se sacará el promedio.



PRUEBAS DE LABORATORIO PARA CEMENTACIONES

DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE BOMBEABILIDAD

Determina durante cuanto tiempo la lechada permanece en estado fluido, (y por consiguiente bombeable) bajo una serie de condiciones dadas en el laboratorio. (Presión y temperatura).

El aparato que se usa para determinar el tiempo de bombeabilidad es el consistómetro, que puede ser atmosférico o presurizable.

El consistómetro esta calibrado para poder leer directamente las unidades Bearden de consistencia (a veces llamadas Poises, por costumbre). Cuando la lechada alcanza 100 unidades de consistencia (Be) se torna imbombeable. Así el tiempo de bombeabilidad, exportado por el laboratorio será el transcurrido desde que se introduce la mezcla en el consistómetro hasta que el aparato marca los 100 Be.



**HPHT Consistometer
Model RHC-3040**

PRUEBAS DE LABORATORIO PARA CEMENTACIONES

DETERMINACIÓN DEL FILTRADO

El control de filtrado de las lechadas de cemento es muy importante en pozos profundos, durante la cementación de Liner, para efectuar cementaciones a presión SQUEZZE, o cuando vamos a cementar la cañería de producción, la lechada que esta frente a la zona potencialmente productora de hidrocarburos debe tener un bajo filtrado.

Se aplican 1000 Psi, y se va leyendo la cantidad de líquido que cae en el cilindro graduado a los 1/4, 1/2, 1, 2, y 5 minutos de iniciada la prueba, y luego a intervalos de 5 minutos cada uno. Si la muestra se deshidrata totalmente antes de media hora, se registra el tiempo que tardó en hacerlo. El filtrado se reporta en cc/30 minutos a 1000 Psi.

