

20 Enrique



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

CEMENTOS PARA POZOS PETROLEROS

TRABAJO ESCRITO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO PETROLERO

P R E S E N T A:

Lisandro Salinas Salazar

MEXICO. D. F.

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO

RESUMEN - - - - -	1
CAPITULO I: ORIGEN Y COMPOSICION DEL CEMENTO - - - -	3
I.1 Introducci3n	
1.2 La materia Prima para la Elaboraci3n del Cemento	
1.3 Origen y formaci3n de las materias pri- mas del cemento	
1.4 Prospeccion de materia prima	
CAPITULO II CLASIFICACION Y TIPOS DE CEMENTO - - - -	18
II.1 Introducci3n	
II.2 Manufactura, composici3n y caracteristi- cas del cemento	
II.3 Tipos de cementos	
II.4 Clasificaci3n de los cementos API	
II.5 Selecci3n de cementos para aplicaci3n es- pecifica en pozos petroleros.	

CAPITULO III PROPIEDADES QUIMICAS Y FISICAS DEL CEMENTO

TO. - - - - - 33

III.1 Introducción

III.2 Composición mineralógica y petrográfica.

III.3 Composición Química

III.4 Determinación de algunas propiedades físicas.

CAPITULO IV ADITIVOS, ACELERADORES Y RETARDADORES PARA CEMENTO. - - - - - 49

IV.1 Introducción

IV.2 Aceleradores

IV.3 Aditivos ligeros

IV.4 Aditivos pesados

IV.5 Retardadores

**IV.6 Aditivos para controlar la pérdida de --
circulación.**

IV.7 Aditivos para controlar la filtración

IV.8 Reductores de fricción.

IV.9 Aditivos especiales

Conclusiones - - - - - 73

Bibliografía - - - - - 75

Tablas - - - - - 76

R E S U M E N

La producción de cemento parece no tener muchos problemas ya que su composición química es bastante conocida. Por lo que una vez que se encuentra la materia prima, se calcula la cantidad necesaria con una composición definida mediante algún método apropiado, y así preparar la mezcla, que ya lista se pasa a un horno donde se obtiene el clinker, el cual se muele con una cantidad determinada de yeso para que se obtenga el cemento final.

En 1903 se utilizó por primera vez la lechada de cemento para obturar la entrada de agua en el fondo del pozo; esta lechada contubo cerca de 50 sacos de cemento portland. En 1920 se utilizó la lechada de cemento en Oklahoma introducida por Erle P. Halliburton.

En 1940 se empezaron a utilizar los aditivos, veinte años despues aparecieron los ocho tipos de cementos elaborados por el instituto Americano del Petróleo (API), el cual creó las especificaciones para los cementos usados en pozos petroleros. Estas especificaciones estan basadas en tres factores principales que son: La presión, la temperatura y la cantidad de agua para la mezcla.

Estos cementos tienen ciertas características o propiedades químicas y física, las cuales se pueden modificar mediante el uso de aditivos, como son; los aceleradores y los retardadores, alterando así algunas de las propiedades

específicas de los cementos como son el esfuerzo a la compresión, el tiempo de bombeabilidad, la densidad, el filtrado, las propiedades del flujo, La viscosidad etc., según sean las condiciones del pozo. En la actualidad existen aproximadamente 44 tipos diferentes de aditivos para el uso de la industria petrolera.

Aunque también existen otros cementos diferentes a los de la clasificación hecha por el API, estos tipos de cementos están constituidos generalmente por algún cemento API y por materiales diferentes como son: yeso, aceite, diesel etc.

Generalmente estos cementos se utilizan dentro de la industria petrolera para desarrollar diferentes trabajos tales como:

- a) Cementaciones de tuberías.
- b) Cementaciones forzadas.
- c) Represionar las zonas que contengan gas a altas presiones.
- d) Evitar pérdidas de circulación.
- e) Proteger a las tuberías de la corrosión.
- f) Evitar el movimiento de los fluidos entre las diferentes formaciones que los contengan etc.

CAPITULO I

ORIGEN Y COMPOSICION DEL CEMENTO

I.1 INTRODUCCION

La composición química del cemento está constituida generalmente en un 95% por los siguientes cuatro -- elementos principales:

64 % CaO	Oxido de Calcio	Cal
22 % SiO2	Dióxido Silice	Sílice
6 % Al2O3	Oxido de Aluminio	Alúmina
3 % Fe2O3	Oxido de Hierro	Hierro

El componente más importante del cemento es la cal, siguiéndole a gran distancia la sílice y a ésta el óxido de aluminio y el final el óxido de hierro.

Además de estos componentes principales hay una serie de otros elementos, subordinados a los primeros pero que a pesar de su pequeño contenido, influyen en las características del cemento. De estos componentes secundarios se hablará después.

En muy pocas ocasiones la naturaleza presenta bancos de materia prima en que aparezcan todos los minerales adecuados para la elaboración del cemento y cuya proporción sea tal que no se tenga necesidad -

de agregar materiales correctivos para obtener una mezcla aceptable. Por lo general, es indispensable explotar dos o más tipos de materia prima, con cuya mezcla se obtenga la composición requerida para la fabricación de cemento.

A continuación se indicará cuáles son las materias primas necesarias para la elaboración de una mezcla cruda y por otro lado cual es el procedimiento a seguir para localizar estos materiales en la naturaleza.

I.2

LA MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACION DEL CEMENTO

El primer requisito importante en la materia prima para la elaboración del cemento es un determinado contenido de cal que pueda combinarse con el resto de los elementos principales de manera que durante la calcinación no se produzca cal libre.

Esto se logra generalmente por medio de la mezcla de un material base con alto contenido de cal y de otros con gran contenido de arcilla, presentándose a veces el caso en que hay que añadir materiales correctivos para alcanzar un determinado valor de los módulos hidráulicos y da-

fundente.

Teóricamente hay tres posibilidades para obtener una mezcla cruda cuya composición química sea la adecuada para la elaboración del cemento; éstas son:

El uso de una sola materia prima que por naturaleza tiene la composición química adecuada para la elaboración del cemento, que recibe el nombre de roca natural de cemento. Este es un caso muy especial y sumamente raro. La mezcla de cuatro componentes puros o sea los cuatro elementos principales. Teóricamente, se puede citar el siguiente ejemplo:

Caliza Pura	CaCO₃
Arena de Cuarzo pura	SiO₂
Bauxita	Al₂O₃
Mineral de Hierro - Puro	Fe₂O₃

Se usan dos componentes principales, de los cuales uno consiste del elemento principal CaCO₃ y el otro de los demás elementos se encuentran en la naturaleza en rocas sedimentarias arcillosas-

en las que se formaron los minerales arcillosos con una relación adecuada para su empleo en la elaboración de la mezcla cruda para la fabricación del cemento.

El componente que contiene principalmente CaO - (en forma de CaCO_3) se llama componente calcáreo y el componente que consiste principalmente de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 se llama componente siliceo.

Por lo tanto y en principio, todas las rocas -- que contienen componentes calcáreos o arcillosos pueden considerarse potencialmente como materias primas adecuadas para la elaboración del cemento.

Estas rocas en la mayoría de los casos son de -- origen sedimentario pudiendo haberse formado en el mar, en lagos, en ríos o en el continente.

Componente Calcáreo.

Para el propósito de éste trabajo se consideran componentes calcáreos aquellas rocas con un contenido de CaCO_3 mayor del 75% o sea mayor que -- los valores requeridos para una mezcla cruda de cemento que se determina por titulación.

Según el contenido de CaCO_3 las rocas calcáreas se subdividen de la siguiente manera:

CaCO_3	Denominación
95 - 100	Caliza de alto porcentaje
85 - 95	Caliza
75 - 85	Caliza margosa

Teniendo una caliza margosa de bajo porcentaje de cal se le puede dar preferencia a una caliza de alto porcentaje siempre y cuando el yacimiento se encuentre en un lugar cercano a las instalaciones de la fábrica; que su consistencia geológica sea uniforme y convenga para una explotación del tipo usual en la industria del cemento; que la componente arcillosa no varía mucho en su contenido de CaCO_3 ; y que la relación de componentes sea aceptable para la elaboración de la mezcla cruda sin necesidad de grandes correcciones.

Componente Arcilloso.

El componente arcilloso es aquel que tenga un contenido de CaCO_3 menor de 75% y referente a los factores hidráulicos (SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3) que su relación con la caliza sea adecuada para-

ser usada en la elaboración de una mezcla cruda para fabricar el cemento. La siguiente lista da una clasificación y características especiales:

Designación	Contenido de CaCO ₃ en %
Marga calcárea	60 - 75
Marga	40 - 60
Marga Arcillosa	25 - 40
Arcilla Margosa	10 - 25
Arcilla	0 - 10

Además de las posibles materias primas de origen sedimentario ya mencionadas, también se pueden considerar como componente sílico, rocas de origen volcánico o metamórfico como por ejemplo:

Tobas volcánicas

Pizarra metamórfica

Filita

Anfibolita

I.3 ORIGEN Y FORMACION DE LAS MATERIAS PRIMAS DEL CEMENTO.

En la génesis de las rocas o sea su origen, hay -

tanta variación y posibilidad que se tocará el tema en forma general.

Proceso de Formación.

Existen tres posibilidades según el proceso de formación de las rocas sedimentarias. Se diferencian según se formaron por un proceso mecánico, químico u orgánico. Por el proceso de desintegración mecánica de rocas antiguas se formaron las siguientes rocas sedimentarias: Gravas, brechas conglomerados, arena y arcillas.

Por residuos, se forma la bauxita; por precipitación la caliza, margas o dolomita; por oxidación, la colita de hierro; por evaporación, la anhidrita, yeso, sal, etc.

La formación orgánica de las rocas sedimentarias proviene principalmente de las partes blandas y duras de organismos. Estos restos orgánicos se encuentran en variada concentración en sedimentos calcáreos tales como las calizas foraminíferas, calizas coralíferas, o calizas de conchas. Otro grupo está formado por sedimentos silíceos como la radiolarita. Un último grupo está formado por los sedimentos orgánicos bituminosos, ta-

les como el petróleo, y el carbón. Esto demuestra que las materias primas para la elaboración del cemento pueden ser producto de un proceso me-canico, químico u orgánico.

Lugar donde se forma.

Se tratará de diferenciar los ambientes en que - se formaron las rocas sedimentarias. Así conocen sedimentos que se depositaron en regiones continentales. Los depósitos en la región continental pueden haberse originado de sedimentos terrestres, tales como la caolinita, bauxita, laterita gravas, arcillas, arena, limos, etc.

Otro grupo de las formaciones continentales comprende sedimentos de agua dulce, tales como arena, grava, lodo, arcilla de agua dulce y carbones de agua dulce, que fueron depositados en las riveras de los ríos o de los lagos de agua dulce. Los depósitos más importantes son de origen marí-timo que dependiendo de la profundidad se forman diferentes tipos de sedimentos.

A poca profundidad se forman arenas, limo, arenas calcáreas, oolíticas, calizas de arrecife, - colita de hierro, fosfato y yeso.

En zonas profundas se forman arcillas verdes, -- azules y rojas, además de formarse diatomitas y radiolaritas.

La Edad de las Materias Primas del Cemento.

Se conoce la edad de las rocas existentes en la tierra hasta una edad aproximadamente 3,600 millones de años y se clasifican de la siguiente manera:

- A) Las rocas que pertenecen al Proterozoico y al Precámbrico una edad de más de 600 millones de años.
La roca más vieja que se ha podido determinar es de cerca de 3,600 millones de años.
- B) Las rocas del Paleozoico tienen una edad entre 225 y 600 millones de años.
- C) Las rocas del Mesozoico tienen una edad entre 65 y 225 millones de años.
- D) Las rocas más recientes son del Cenozoico y tienen una edad entre 0 y 65 millones de años.

Generalidades.-

La localización de la materia prima para el cemento representa el principal trabajo del Geólogo en la industria del cemento, el cual junto -- con el Químico examina la posible materia prima-- desde el punto de vista geológico y composición-- química para la aplicación en la producción de -- cemento.

Debido a la importancia que tiene la materia prima para la industria del cemento es indispensable conocer la situación geológica para no cometer errores que en la mayoría de las veces son -- irreparables.

Finalidades de la Prospección de Materias Primas del Cemento.

El principal objetivo de la prospección de materia prima para una nueva fábrica de cemento por-- construirse es encontrar un material que corres-- ponda tanto cuantitativamente como cualitativa-- mente a los requerimientos pedidos.

Además se requieren estudios adicionales que el Geólogo pueda resolver según las condiciones locales que son de índole económico, geográfico, climático, tectónico y otros relacionados directamente con la maquinaria empleada en la industria.

Localización de los Depósitos de Materia Prima.

En muchos países la materia prima se encuentra en depósitos de extensión más o menos amplia de tal manera que pueden adoptar diferentes métodos de explotación que frecuentemente pueden determinarse basándose en los análisis cualitativos y cuantitativos.

Evaluación Cualitativa de Yacimientos de Materia Prima

Paralelamente a la localización de yacimientos de materia prima deben hacerse análisis para determinar propiedades y características físicas y químicas de la materia prima.

En el transcurso de los trabajos de prospección-

se toman muestras representativas de las rocas -- que potencialmente podrán servir como materia prima con el propósito de determinar la composición química y mineralógica y efectuar ensayos físicos para conocer las propiedades del material a ser triturado y molido. Así también se efectúan ensayos de calcinación en el laboratorio.

Para estas pruebas normalmente se requiere un volumen de muestra representativo del depósito por explotar.

Material	Cantidad	Diámetro Máximo
Componente Calcáreo	150 Kg.	15 cm.
Componente silíceo	100 Kg.	10 cm.
Correctivos	10 Kg. de c/u.	2 cm.
Yeso	5 Kg.	2 cm.

Cálculo de las Reservas de Materia Prima. - (Evaluación Cuantitativa).

Para la evaluación cuantitativa de las reservas - el Geólogo tiene que estudiar el yacimiento considerando los siguientes factores:

A) Determinación de la estructura geo-

lógica de los yacimientos, profundidad rumbo y buzamiento de los estratos, -- pliegues, fracturas etc.

B) Determinar el nivel de las aguas -- subterráneas debido a que este factor-determina la forma y el método de ex-- plotación de la cantera.

C) Fijar el lugar por donde se debe atacar el yacimiento para abrir la cantera y el método de explotación.

SECUENCIA GENERAL PARA REALIZAR UNA PROSPECCION- DE MATERIA PRIMA.

Estudio de Gabinete.

Recopilación y estudio de toda la información -- geológica y topográfica posible.

Estudios Preliminares de Campo.

Primera visita al campo y selección de posibles - depósitos de materia prima basándose en la situación topográfica, composición química y estructu-

-ra geológica. Consideración de las reservas en forma aproximada.

Prospección General.

Localización definitiva de uno o dos depósitos de materia prima para cada componente, apropiada para la producción de cemento en base de los conocimientos adquiridos desde el punto de vista topográfico, geológico, químico y mineralógico.

Las muestras deben ser representativas para la totalidad de los estratos del yacimiento; de esta manera se obtienen valores más exactos para el cálculo de las reservas.

Prospección Detallada.

Tiene como propósito examinar los depósitos definitivos, desde el punto de vista topográfico, geológico, químico, mineralógico y tecnológico, en una forma más refinada.

La intensidad con que deban estudiarse los yacimientos de reserva para ser explotados en el futuro depende de la homogeneidad y de la estruc-

-tura de todo yacimiento.

CAPITULO II

CLASIFICACION Y TIPOS DE CEMENTOS

II.1 INTRODUCCION

Los materiales para cementaciones son usados en todo el mundo, como testimonio de la durabilidad de ellos se tiene que en Egipto se presenta el cemento-yeso, en Grecia la calcinación de la caliza en Italia Cemento Puzolánico; más tarde se utilizaron los cementos hidráulicos en el área del Mediterraneo.

Estos materiales son compuestos de residuos de Silicato, originados por erupciones volcánicas mezclada con caliza y agua.

El avance de la tecnología de cementación es muy-pequeño a través de casi medio siglo. La Historia generalmente acredita el descubrimiento del Cemento Portland a José Aspdin y al Inglés Mason en -- 1824.

El API y la ASTM son las dos principales agencias que estudian y escriben sobre las especificaciones para la manufactura del Cemento Portland.

La ASTM proporciona las especificaciones para ---

cinco tipos de Cemento Portland Tipo I,II, III,- IV y V, los cuales son manufacturados para usarse en condiciones atmosféricas.

El API proporciona las especificaciones para las ocho clases de cemento, designadas como clases - A, B, C, D, E, F, G, y H, los cuales se utilizan a diferentes rangos de presión y temperatura.

Los cementos API, clase A, B y C, corresponden - a los de la ASTM, tipo I, II y III.

Generalmente los cementos manufacturados para -- usarse en pozos petroleros son los basados en la clasificación API.

En las operaciones de terminación de Pozos los - cementos son usados generalmente para desplazar- el lodo de perforación y ocupar el espacio anu-- lar entre la tubería y el agujero.

Los cementos pueden ser designados para profundidades mayores de los 9,144 m (30,000ft) donde el rango de temperatura para áreas calientes de más de 371°C (700°F).

Estas especificaciones no cubren todas las pro-- piedades de los cementos para rangos amplios de Presión y Profundidad. Estas hacen de cualquier forma las listas de Propiedades físicas y químicas tales como: contenido de agua, tiempo de es-

-pesamiento, esfuerzo a la compresión, etc.

II.2 MANUFACTURA, COMPOSICION Y CARACTERISTICAS DEL CEMENTO.

Cemento Portland.

Es una mezcla de componentes de calcio de grano fino. Están hechos de caliza u otro material de alto contenido de carbonato de calcio y arcilla o arcilla esquistosa. Los óxidos de fierro y aluminio se pueden agregar si no están presentes en suficiente cantidad en las arcillas empleadas. Estos materiales se muelen finamente y se mezclan, calentándose desde 1430° hasta 1540°C (2600° a 2800°F) en un horno rotatorio. Lo obtenido en el horno se muele con una cantidad controlada de yeso para formar así el Cemento Portland.

La distribución del tamaño de las partículas de Cemento es la siguiente: 85% que pasa por mallas 325 (44 micrones), 90% que pasa por mallas 200 (74 micrones) y 100% que pasa por mallas 150 (100 micrones). Las funciones de los componentes principales formados en el proceso de calen-

-tamiento son:

SILICATO TRICALCICO. - (3 CaOSiO_2) . - Es el mayor componente en la mayoría de los cementos y es el material principal que produce la resistencia (1 a 20 días).

SILICATO DICALCICO. (2CaOSiO_2) . - Es el componente de lenta hidratación y sirve para graduar la resistencia del cemento.

ALUMINATO TRICALCICO. $(3 \text{ CaOAl}_2\text{O}_3)$. - Es un componente que provoca la rápida hidratación y controla el fraguado inicial y el tiempo de espesamiento; también causa la susceptibilidad del cemento al ataque de los sulfatos; tiene 3% ó menos de aluminato tricálcico.

ALUMINOFERRATO TETRACALCICO. $(4 \text{ CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3)$. Es un componente de bajo calor de hidratación del cemento; éso da el color al cemento. Un exceso de óxido de hierro puede aumentar la cantidad de aluminoferrato tetracálcico y disminuir la cantidad de tricalcio de aluminio en el ce-

-mento.

Todas las clases de Cemento Portland se manufacturan en igual forma y con los mismos ingredientes, pero las proporciones y las dimensiones de las partículas se ajustan a las propiedades deseadas.

El requerimiento de agua para cada tipo de cemento varía con la finura de la mezcla ó el área de contacto. Los cementos retardados tienen baja superficie de contacto; los cementos de alta resistencia tienen gran superficie de contacto y los cementos Portland tienen una superficie de contacto tan alta ó tan baja según lo retardados que sean.

En la tabla 2-1 se comparan las composiciones típicas y mezcla de las clases de Cemento Portland. Una vez que el cemento está alrededor de la tubería, es importante que los procesos de crecimiento del cristal prosigan tan rápidamente como sea posible, a reducir la exposición del tiempo de los mecanismos de perturbación.

II.3 TIPOS DE CEMENTOS

Cemento Pozmix.

Es la combinación de cemento Portland con puzolana y cerca del 2% de bentonita. Por definición - una puzolana es un material de sílice, que al reaccionar con cal y agua forma silicato de calcio el cual tiene propiedades cementantes. El cemento - portland libera cerca del 15% de cal cuando reacciona con agua, por lo que al adicionar la puzolana reacciona con ésta cal libre formando una masa más dura de silicato de calcio. La composición - del pozmix es menos costosa que otro material de cementación básico ya que se usa más agua para -- darle peso al material.

Cemento de Aluminio de Calcio o Cementos Refractarios.

Son manufacturados por calentamiento de bauxita y caliza. Los cementos de alto contenido de aluminio resisten ataques por sulfatos y otras características del fraguado; algunas veces se recomienda usarlos donde las temperaturas de la formación son bajas.

Cemento-Yeso.

Se usa para semi-hidratación del yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$); el fraguado es muy rápido expandiéndose -- 0.3% sobre el fraguado, pero se deteriora al contacto con el agua. Estos no se usan con mucha frecuencia con cementos de clase A, G o H con una concentración de 8 a 10% originando propiedades tixotrópicas, excepto en mezclas con cemento portland.

Cemento Permafrost.

Es una mezcla de cemento-yeso con cemento portland; tiene bajo grado de hidratación; su fraguado podría ser de -9°C (15°F); éstos fueron usados en cementaciones de formaciones congeladas del Artico.

Cemento Tixotrópico.

Es el cemento que sirve para aumentar la viscosidad de la lechada. Este cambio de viscosidad -- ocurre repentinamente cuando se incrementa o de-

-crementa alternativamente el esfuerzo cortante, por lo que su comportamiento es similar a los -- fluidos plásticos de Bingham.

Cuando los cementos tixotrópicos fueron necesarios para situaciones difíciles de cementación, decidieron utilizar las lech_udas convencionales. Esta preferencia es debida a que el uso de cementos tixotrópicos muestran propiedades físicas -- únicas que nunca han sido explicadas completamente.

Cemento Puzolánico.

La puzolana incluye solamente material arcilloso que en presencia de cal y agua desarrolla cualidades cementantes. Estos pueden ser divididos - dentro de las puzolanas naturales o artificiales. La puzolana natural son en su mayor parte de origen volcánico, mientras que las puzolanas artificiales son obtenidas mediante el tratamiento de calor a materiales naturales tales como arcillas, esquistos y ciertas rocas silicosas.

La ceniza, producto de la combustión del carbón - es usada ampliamente en la industria petrolera - como puzolana. Cuando esta ceniza está presente

en el cemento, combinada con el hidróxido de calcio, constituyen una gran resistencia e impermeabilidad al cemento.

Cemento Resinoso o Plástico.

Estos cementos son generalmente mezclas de agua, resina líquida y un catalizador combinado con un cemento de clase A, B, G ó H.

Su característica principal es que cuando a la lechada se le aplica presión la fase resinosa puede ser comprimida dentro de una zona permeable y formar un sello dentro de dicha formación. Son efectivos para rangos de temperatura pequeños, de los 15°C a 93°C (60°F a 200°F) y para volúmenes pequeños.

II.4

CLASIFICACION DE LOS CEMENTOS A. P. I.

Estos cementos se utilizan para diferentes profundidades de pozos y en condiciones estáticas de temperatura.

Cemento Clase A.

Se usan desde la superficie hasta 1,830 m (6,000' de profundidad cuando no se requieren propiedades especiales. Puede obtenerse únicamente en el tipo más común similar a ASTM C 150 tipo I.

Cemento Clase B.

Son de usarse desde la superficie hasta 1,830 m (6,000') de profundidad cuando las condiciones requieren de una resistencia a los sulfatos de moderada a alta. Puede obtenerse en los dos tipos, de resistencia moderada a los sulfatos similar a ASTM C 150 Tipo II y en alta resistencia. Esta clase de cemento es más resistente al ataque de los sulfatos.

Cemento Clase C.

Sirve para usarse desde la superficie hasta 1,830 m (6,000') de profundidad cuando las condiciones requieren alta resistencia temprana. Puede obtenerse en tipo común, de resistencia mode-

-rada a los sulfatos similar a ASTM C 150 Tipo - III y en tipo de alta resistencia a los sulfatos. El cemento clase C tiene más resistencia a la compresión que el cemento clase A en las primeras 30 h. Sin embargo, el cemento de clase A con cloruro de calcio tiene más resistencia que el cemento de clase C sin aceleradores.

Cemento Clase D.

Se usa desde 1,830 m. hasta 3,050 m. (6,000' a 10,000') de profundidad, en condiciones de temperaturas y presiones moderadamente altas. Puede obtenerse en los tipos de resistencia moderada a los sulfatos y de alta resistencia a los sulfatos.

Cemento Clase E.

Se usa desde 3,050 m. hasta 4,270 m. (10,000' a 14,000') de profundidad en condiciones de temperaturas y presiones altas. Puede obtenerse en los tipos de resistencia moderada a los sulfatos y de alta resistencia a los sulfatos.

Cemento Clase F.

Se usa desde 3,050 m. hasta 4,880 m. (10,000' a 16,000') de profundidad en condiciones de temperaturas y presiones extremadamente altas. Se obtienen en los dos tipos de resistencia a los sulfatos. Los cementos de clase D, E y F son cementos retardados por componentes orgánicos, los cuales se aprovechan muy poco. Su costo se justifica para condiciones especiales del pozo.

Cemento Clase G.

Para usarse como cemento básico desde la superficie hasta 2,440 m. (8,000') de profundidad tal como se manufactura o puede utilizarse con aceleradores y retardadores para cubrir una amplia gama de profundidades y temperaturas del pozo. Durante la manufactura no se hacen otras adiciones aparte del sulfato de calcio, del agua o de ambos al mezclarse con la escoria del cemento. Puede obtenerse en los tipos de resistencia moderada a los sulfatos y de alta resistencia a los sulfatos.

Cemento Clase H.

Para usarse como cemento básico desde la superficie hasta 2,440 m. (8,000') de profundidad tal como se manufactura, o puede usarse con aceleradores y retardadores para cubrir una amplia gama de profundidades y temperaturas de pozo.

Durante la manufactura del cemento de clase H no se hacen otras adiciones aparte del sulfato de calcio del agua ó de ambos, intermolidas, ni otras mezclas con la escoria del cemento. Puede obtenerse únicamente en el tipo de resistencia moderada a los sulfatos.

Los cementos G y H, básicos, son similares a los de clase B con la única diferencia que son manufacturados bajo especificaciones físicas y químicas rigurosas, dando como resultados un producto más uniforme. El cemento de clase H es similar al de la clase G excepto que tiene más facilidad para ser molido siendo compatible con aceleradores o retardadores dentro de un rango completo de las condiciones A.P.I. El cemento de clase G con aditivos puede reemplazar a cualquier otro cemento de la clasificación A.P.I.

Cemento Clase J.

Para usarse tal como se manufactura desde 3,600 m. hasta 4,880 m. (12,000' a 16,000') de profundidad, en condiciones de temperaturas y presiones extremadamente altas o puede usarse con aceleradores y retardadores para cubrir una amplia gama de temperaturas y profundidades del pozo. Durante la manufactura de éste cemento no se hacen otras adiciones aparte del sulfato de calcio, del agua o de ambos, intermolidas, ni otras mezclas con la escoria del cemento.

II.5

SELECCION DE CEMENTOS PARA APLICACION ESPECIFICA EN POZOS PETROLEROS.

- 1.- El problema de seleccionar un cemento para una aplicación específica en un pozo es una elección económica del material cementante -- que:
 - a. Pueda ser colocado satisfactoriamente con el equipo que se tenga.
 - b. Puede producir un esfuerzo a la compresión --

tan pronto sea colocado.

- c. Pueda inmediatamente conservar las propiedades necesarias para aislar las formaciones y soportar y proteger la tubería de revestimiento.

2.- La clasificación A.P.I. de cementos para diferentes profundidades de pozos y en condiciones estáticas de temperatura, así como la recomendación para la cantidad de agua de mezclado y densidad de la lechada resultante.

Se muestran en la tabla 2-2

CAPITULO III

PROPIEDADES QUIMICA Y FISICAS DEL CEMENTO.

III.1 Las propiedades que se consideran más importantes durante la producción son:

- a) Composición Química
- b) Materiales que forman la roca
- c) Textura y Grado de Consolidación.

La petrografía es de gran utilidad para distinguir a sustancias principales para la producción del cemento como son: Oxido de Aluminio (Al_2O_3); Oxido de Calcio (CaO); Oxido de Silicio (SiO_2); y Oxido de Hierro (Fe_2O_3), los cuales se determinan mediante un análisis químico.

Existen ciertas sustancias para la producción del cemento que deben controlarse. La mayoría de ellas tienen un efecto deletéreo en el proceso de la producción y en la calidad del cemento, pero una cantidad pequeña se necesita para estabilizar ciertas modificaciones de los minerales de la escoria. Las sustancias más importantes son:

AGUA (H_2O)

Un alto contenido de agua puede causar dificultades en rocas de alto contenido de arcilla y también influencia entre el proceso húmedo y el proceso seco.

SULFURO (SO_3)

Se concentra en los circuitos del horno formando depósitos y anillos, los cuales contienen sulfatos alcalinos. El sulfuro estará presente en la escoria; si la cantidad de sulfuro es muy grande se deberá reducir la cantidad del yeso.

ALCALIS (Na_2O, K_2O)

Forma depósitos indeseables que se presentan tanto en el precalentador como en el horno, influenciando en la calidad del cemento y aumentando la resistencia temprana, así como una disminución en la resistencia final del cemento.

COLORO (Cl)

También se concentra en los circuitos del horno; - las reacciones que se presentan en los circuitos - del horno son debidas a la evaporación tanto de ál calis, como del cloro y del sulfuro. Esto ocurre a cierta temperatura formando parte de la atmósfera del horno y no saldrán junto con la escoria, -- siendo devueltos al precalentador en una zona de - baja temperatura, por lo que se condensan en la su perficie de las partículas del crudo.

FLUOR (F)

El flúor se introduce en forma de fluorita (CaF_2), lo que ocasiona un efecto fluidificante durante la cocción de la escoria.

OXIDO DE MAGNESIO (MgO)

Si el cemento llega a contener más de un 3% a un - 5% de óxido de magnesio causará expansiones en él.

III.2 COMPOSICION MINERALOGICA Y PETROGRAFICA.

CARBONATOS

La calcita y la aragonita son modificaciones poli-
morfas con una composición química idéntica.

La aragonita es inestable y se transforma fácil-
mente en calcita, por lo que se encuentra en sedi-
mentos no consolidados y depositados recientemente.

La calcita puede contener algunas veces cantida-
des notables de impurezas tales como: magnesio, -
manganeso y fierro.

SILICATOS.

Las retículas de todos los silicatos están basa-
das en la misma unidad de estructura; ésta unidad
es el óxido de sílice-tetraedro. Dicha unidad -
tiene un átomo de sílice en el centro mientras --
que en las cuatro esquinas se encuentran átomos -
de oxígeno.

FELDESPATOS.

Son los minerales más abundantes en la naturaleza,

se presentan en casi todos los componentes de sílice usados en la mezcla de materia prima para el cemento.

MINERALES ARCILLOSOS.

Los minerales arcillosos se forman mediante la alteración y desgaste de los feldespatos; éstos minerales son los compuestos de sílice más importantes de las mezclas de materia prima para el cemento. La unidad principal de la estructura es el SiO_4 - Tetrahedro.

OXIDOS.

Algunos de los minerales de éste grupo se presentan en las rocas como componente menores; algunos se usan como aditivos de la mezcla para el cemento.

(Magnetita, Fe_3O_4 ; hematita, Fe_2O_3).

SULFATOS.

El sulfato debe sumarse a la escoria para obtener

el cemento como producto final (yeso, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; anhidrita, CaSO_4).

III.3 COMPOSICION QUIMICA.

Para entender la naturaleza del proceso de la hidratación del cemento es necesario explicar las reacciones químicas que ocurren en el horno.

El horno contiene una mezcla de materiales arcillosos y calcáreos de grano fino los cuales son calcinados en un horno rotatorio que opera a una temperatura de los 1425° a los 1536°C (2600° a 2800°F) por lo que el material se convierte en escoria que va a tener aproximadamente 5 cm (2pg) de diámetro.

Después de un período de almacenamiento se tiene un sedimento con yeso para dar el cemento final.

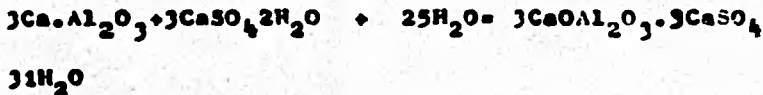
El yeso se utiliza para el control del fraguado y endurecimiento del cemento en cantidades que varían de 1.5 a 3 %. En la zona caliente del horno cerca del 25% de la escoria está en forma líquida; algunas de éstas dejan de cristalizarse durante el proceso de extinción y se presenta la escoria-

en forma de líquido frío o de vidrio conteniendo en ésta forma de un 10% a 15% del total.

La fase cristalina restante que existe en la escoria del cemento, se tendrá principalmente con determinados productos como son: Silicato Tricálcico, Silicato Dicálcico, Aluminato Tricálcico, Aluminoférrico Tetracálcico, solución de Sólidos de Sulfato de Alkali, Oxido de Magnesio y Cal Libre. Los primeros cuatro productos son considerados como los principales materiales de cementación; se hidratan para formar o ayudan en la formación de una estructura rígida. Los sulfatos de Alkali generalmente aceleran la hidratación de la lechada.

ESTRUCTURA DE LA MEZCLA ENDURECIDA.

La naturaleza de los productos de hidratación en la mezcla del cemento portland depende de un gran rango de temperatura; para un volumen dado de una mezcla de cemento y agua la cual está libre de -- burbujas de aire puede visualizarse una consistencia de un espacio relleno con sólidos y otro con agua; una de éstas reacciones que ocurre es:



sólido + sólido + líquido = sólido

En ésta reacción se muestra que los dos sólidos - del cemento original al reaccionar con el agua da una nueva fase sólida. Esta nueva fase sólida --- ocupa un espacio mayor que las dos fases sólidas- originales, por lo que esta reacción (de agua con sólidos) incrementa el espacio ocupado por los sólidos y decrece el espacio ocupado por el agua. Mientras la mezcla aún no se fragua tal reacción- decremente el volumen total de la mezcla, pero si ya está fraguada se crean espacios dentro de ésta.

Estos sólidos consisten principalmente de partículas demasiado pequeñas que permiten que ésta estructura se determine por la composición del cristal por lo que generalmente son referidos como cementos gel; el material de cementación entrecruzado con el cemento gel dará una cantidad grande de productos cristalinos en la reacción junto con el cemento sin reaccionar.

III.4

DETERMINACION DE ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS.

Para la preparación de la lechada de cemento que se utiliza en las cementaciones de pozos, se necesitan tomar en cuenta algunas propiedades de ésta para un mejor resultado al ser usadas. Estas propiedades son:

- a. Tiempo de espesamiento.
- b. Resistencia a la compresión.
- c. Permeabilidad.
- d. Densidad.
- e. Viscosidad.
- f. Temperatura y presión hidrostática.
- g. Calidad de agua para la mezcla.
- h. Tipo de fluido y aditivos para la perforación.
- i. Resistencia de la lechada al agua salada.
- j. Contenido de agua.
- k. Profundidad del pozo.

RELACION ENTRE PRESION, TEMPERATURA Y TIEMPO DE - ESPESAMIENTO.

Las dos características básicas que influyen sobre

las lechadas de cemento son la presión y la temperatura; esto sucede cuando se bombea la lechada y cuando se desarrolla la resistencia necesaria para soportar la tubería. Cuando la temperatura de la formación se incrementa la lechada de cemento se hidrata y se desarrolla más rápidamente la resistencia para soportar la tubería.

También el efecto de la temperatura influye en el tiempo de espesamiento, el cual al aumentar la temperatura disminuye el tiempo de bombeabilidad (Fig. 3-1).

La presión ejercida por los fluidos del pozo, reduce también el tiempo de bombeabilidad (tabla 3-2).

En pozos profundos, la presión hidrostática más la presión superficial durante la colocación de la lechada puede exceder los 1409 Kg/cm^2 ($20,000 \text{ Lb/Pg}^2$).

Los gradientes de temperatura varían en las diferentes áreas geográficas para cada dato de la relación de la temperatura estática del fondo del agujero contra la circulación; las temperaturas pueden obtenerse determinando el tiempo de bombeabilidad de la lechada de cemento. El API toma -

como base la siguiente relación de temperatura: -
 $^{\circ}F = 80^{\circ}F + 0.015 \times h \text{ (ft)}$, en la cual, se basan
las tablas para realizar las pruebas en laborato-
rio.

RELACION ENTRE LA VISCOSIDAD Y CONTENIDO DE AGUA.

En la cementación primaria la lechada de cemento-
tendrá una viscosidad o consistencia que ejecuta-
rá además un eficiente desplazamiento de lodo y -
permite aún una buena adherencia entre la forma -
ción y la tubería.

La mayoría de las lechadas se mezclan con una can-
tidad de agua que provendrá de un volumen igual -
al volumen de la lechada. Sin la separación del-
agua libre.

El tamaño de partícula, el área de superficie y -
los aditivos influyen, en la cantidad de agua re-
querida para la mezcla, dando una viscosidad par-
ticular para una lechada dada.

Con un incremento en el contenido de agua libre -
se tendrá tiempos de espesamiento grandes y un re-
traso en el fraguado del cemento. El exceso de -
agua produce cementos con baja resistencia a la -

corrosión.

TIEMPO DE ESPESAMIENTO.

Es el período de tiempo durante el cual la mezcla permanece bombeable; esta propiedad se ve afectada por la presión, la temperatura, el tipo y porcentaje de aditivos en la mezcla, el contenido de agua, las características del agua usada, los fluidos desplazados, etc.

Esta prueba simulada de tiempo de espesamiento para condiciones del pozo tiene una temperatura de fondo estática de 260°C (500°F) y una presión de 1700 Kg/cm^2 ($2,500 \text{ Lb/Pg}^2$).

El tiempo de espesamiento se toma desde el momento en que empieza a bombearse la lechada hasta que se espesa y pierde fluidez; se considera que las mezclas dejan de fluir cuando alcanzan una viscosidad de 100 poises.

El tiempo necesario para la colocación de la lechada es de 3 a 4 horas.

RESISTENCIA A LA COMPRESION.

Es la resistencia para minimizar el tiempo de espera para el fraguado y para soportar los esfuerzos originados en las operaciones. Se considera generalmente una resistencia a la compresión de 35 -- Kg/cm² para que exista buena adherencia entre el cemento la formación y la tubería de revestimiento; Esta propiedad está estrechamente relacionada con el tiempo de espesamiento de la lechada, por lo que estará afectada por los mismos factores -- (presión, temperatura y relación agua-cemento); -- principalmente, el cemento deberá desarrollar esta resistencia a la compresión entre las 3 y 6 primeras horas después de su colocación, para reducir el tiempo de espera del fraguado, a temperaturas mayores de 110°C (230°F) se presenta el fenómeno de la retrogresión a la resistencia, que es cuando existe una disminución brusca en la resistencia a la compresión.

PERMEABILIDAD.

Esta es una de las propiedades del cemento que se requiere disminuir para lograr un sello hidráulico efectivo entre las diferentes formaciones penetra-

-das, por lo que las lechadas ya fraguadas tienen valores muy bajos de permeabilidad (0.1 md o menos), los cuales son menores que los de las formaciones productoras.

A temperaturas menores de 302°C (200°F) la permeabilidad del cemento decrece con el tiempo y la temperatura.

La dolomita y la caliza tienen una permeabilidad promedio de 2 a 3 md; la arenisca tiene un rango de permeabilidad de 0.1 a 2,000 md.

MEZCLA DE AGUA.

La principal función del agua en una lechada de cemento es la de humedecer los sólidos del cemento y conducirlos al fondo del pozo. El agua que se usa para la mezcla de cemento será limpia y libre de sedimentos, de materia orgánica, álcali o de otros contaminantes.

Esta agua es frecuentemente satisfactoria para mezclarse con cemento a profundidades de 1,524 m (5,000 pies), y con un contenido de sólidos menor de 500 ppm.

Los materiales inorgánicos como cloruros, sulfatos, hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos, cuando se presentan en concentraciones pequeñas en una mezcla de agua acelerarán el fraguado del cemento. Esta misma mezcla de agua usada en cementaciones profundas a altas presiones y temperaturas, causa que la lechada se coloque prematuramente, ya que generalmente contiene indicios de carbonatos y bicarbonatos los cuales disminuyen el tiempo de bombeabilidad.

El agua de mar contiene de 30,000 a 40,000 ppm de sólidos aceleradores de cemento; ésta aceleración química puede ser neutralizada con un retardador que se puede usar con el agua a altas temperaturas.

Las impurezas de cloruros frecuentemente causan aeración y espumeamiento durante la mezcla de cemento los cuales ocasionan problemas al peso de la lechada.

Las aguas naturales contienen productos orgánicos para descomponer la vida vegetal o fertilizantes, los cuales retardan el fraguado del cemento; generalmente la sustancia retardadora es el ácido Húmico formado por la depositación de plantas.

DENSIDAD DE LA LECHADA.

Esta propiedad tiene como principal característica la de mantener el control del pozo evitando que las paredes del agujero se derrumben.

Para rangos de densidad baja de 1.29 a 1.87 gr/cm³ (10.8 a 15.6 Lb/Gal), se necesitan grandes volúmenes de agua y para rangos de densidad alta de 1.87 a 2.64 gr/cm³ (15.6 a 22 Lb/Gal), se usan comunmente dispersantes y materiales pesados.

CAPITULO IV

ADITIVOS, ACELERADORES Y RETARDADORES PARA CEMENTO.

IV.1 INTRODUCCION

En las cementaciones de pozos generalmente influyen los siguientes factores:

1. Bajas temperaturas en zonas frías.
2. Temperaturas mayores de 260°C en pozos profundos.
3. Temperaturas de 232° a 260°C para pozos de vapor.
4. Temperaturas de 815°C a 1093°C para pozos de flujo caliente.
5. El rango de presión va desde la presión atmosférica $1,033\text{ Kg/cm}^2$ hasta los 2113 Kg/cm^2 para pozos extremadamente profundos.

Para determinadas presiones y temperaturas se pueden utilizar las diferentes clases de cemento, mediante el uso de aditivos. Existen más de 40 clases de aditivos, los cuales afectan las propiedades de la lechada en forma muy variada:

- a) La densidad si puede variar de 1.26 gr/cm^3 a --

3 gr/cm³.

- b) La resistencia a la compresión se puede variar de 14 Kg/cm² a 1408 Kg/cm².
- c) El tiempo de fraguado se puede acelerar o retardar en pocos segundos o arriba de 36 horas.
- d) El filtrado puede ser menor de 25 cm³ sobre 30-min, cuando se mide con malla 325 a una presión de 70 Kg/cm².
- e) Las propiedades del flujo se pueden variar dentro de un gran rango.
- f) La resistencia a la corrosión por densificación o por la variación de su composición química.
- g) Elasticidad por la incorporación de fibras finas en la composición de la lechada.
- h) Para controlar la pérdida del fluido se pueden agregar agentes granulares, fibrosos, gelatinosos y laminares.
- i) El control de la permeabilidad en pozos de baja temperatura se realizan por densificación y para pozos con temperatura mayor de 110°C se controla por densificación y fluoruro de sílice.
- j) La expansión del cemento ya colocado puede ser lenta debida al uso de yeso, cloruro de sodio o por ambos.

k) La pérdida de calor durante su colocación se controla mediante el uso de arena, ceniza o bentonita con agua.

IV.2 ACELERADORES.

- a) Cloruro de Calcio.
- b) Cloruro de Sodio
- c) Cemento-Yeso
- d) Silicato de Sodio
- e) Agua de Mar

CLORURO DE CALCIO.

El Cloruro de Calcio es un material higroscópico, siendo muy provechoso en forma de lámina y en polvo en un 77%; en la forma de lámina en el anhídrido se aprovecha en un 96%. En ésta forma se usa generalmente ya que puede absorber humedad y depositarse con mayor facilidad.

Generalmente se usa del 2% al 4% de Cloruro de Calcio en la lechada de cemento, dependiendo de las condiciones del pozo. En algunos casos se usa un 4% por lo que se requieren grandes propor-

-ciones de agua en la mezcla con el cemento; este volumen de agua ayuda a diluir la concentración del cloruro de calcio.

CLORURO DE SODIO.

Es un acelerador efectivo para cementos puros; se usa en concentraciones del 3.5% dando una aceleración muy rápida; en lechadas con alto contenido de agua su aceleración es menor. Además no produce degradación en la aceleración producida con el cloruro de calcio.

CEMENTO-YESO.

Se obtiene principalmente de una semi-hidratación de sulfato de calcio y se usa como acelerador en concentraciones mayores del 100%. Tiene un tiempo de espesamiento de 5 min.; este tiempo se obtiene con ciertas mezclas de cemento portland y yeso.

SILICATO DE SODIO.

Sirve principalmente para acelerar las lechadas de cemento que contienen carboximetil-hidroxiethyl celulosa (CMHEC), el cual es un retardador.

AGUA DE MAR.

Se usa generalmente en mezclas de cemento que se van a utilizar en localizaciones marinas; contiene una cantidad arriba de 23×10^3 ppm de cloruros, los cuales actúan como aceleradores. Esta agua no se utiliza cerca de las playas ya que no produce la aceleración deseada. Su efecto sobre el tiempo de bombeabilidad y resistencia a la compresión en las lechadas de cements Clase A y H es la de disminuirlos, donde existen temperaturas mayores de 71°C ; las lechadas mezcladas con agua de mar pueden ser convenientemente retardadas.

IV.3

ADITIVOS LIGEROS.

Las lechadas de cemento cuando se preparan con cements A, D, G ó H usando la cantidad de agua recomendada tendrán un peso excesivo de 1.8 gr/cm^3 - por lo que algunas formaciones no soportan la con

-tra presión. Por lo tanto se utilizan aditivos - para reducir el peso de la lechada, incrementar el rendimiento de ésta y reducir la pérdida del fil-- trado. La densidad de la lechada se puede reducir mediante la adición de agua, de sólidos o de am -- bos. Los materiales más comunmente usados son:

- a. Bentonita
- b. Tierras diatomáceas.
- c. Gilsonita.
- d. Perlita.
- e. Nitrógeno.
- f. Puzolana artificial.
- g. Silicato de Sodio.

BENTONITA.

La bentonita es una arcilla coloidal que proporci_o na viscosidad y propiedades tixotrópicas mediante- el uso de agua dulce por hinchamiento de sus parti_u culas que son de 10 veces su volumen original. La bentonita fue uno de los principales aditivos usa- dos en los cementos para pozos de aceite para redu- cir el peso e incrementar el volumen de la lecha - da; se agrega en concentraciones de 1% a 16% por -

peso de cemento.

Cuando está seca se mezcla con cantidades de 8% a 12% y se requieren aproximadamente 4.9 l de agua - por cada 2% de bentonita. El efecto que ocasiona el 1% de bentonita prehidratada es el mismo que para 3.6% de mezclado seco.

Con 7% a 12% de cemento gel los dispersantes son - usados frecuentemente para reducir la viscosidad y obtener flexibilidad en la cantidad de agua a usar.

La bentonita es usada generalmente en:

- a) Bentonita Pre-hidratada.
- b) Cemento Modificado.
- c) Cemento Salado de Alta Gelatinosidad.

Los altos porcentajes de bentonita reducen el esfuerzo a la compresión y el tiempo de bombeabilidad de cementos retardados y regulares; también la bentonita y el agua disminuyen el ataque químico a las formaciones que contienen agua.

- a). Bentonita Pre-hidratada.- Cuando el tamaño del equipo no es el adecuado para mezclar en seco, se agrega agua a la bentonita o sea, se prehidrata dejando que la bentonita absorba el agua por 24 horas; antes de agregar al cemento se incrementa la separación de agua libre de la lechada.

b) **Cemento Modificado.**- Está generalmente compuesto por cemento Portland, de 8% a 25% de bentonita y un dispersante el cual generalmente es lignosulfanato de calcio.

El Lignosulfanato en una lechada de alta gel funciona como un dispersante y retardador, o sea disminuye su peso, baja el costo e incrementa su rendimiento. Modifica la lechada ocasionando la disminución de la pérdida de fluido de 100 a 120 cm³ con 12% de bentonita, de 50 a 67 cm³ con 25% de bentonita.

Estos cementos se usan principalmente en terminaciones permanentes y terminaciones múltiples. Los cementos de clase D y E no se utilizan para preparar este tipo de cemento ya que contienen un dispersante el cual es un retardador químico.

C) **Cemento Salado de alto Gelatinosidad.**- Estos cementos consisten de cemento Portland, de 12% a 16% de bentonita, de 3% a 7% de sal inorgánica y 0.1% a 1.5% de agentes dispersantes (lignosulfanato de calcio).

La sal actúa tanto como retardador y dispersante y el lignosulfanato actúa como retardador y dispersante. Estos cementos son muy bombeables aunque el volumen de agua es generalmente menor a la utilizada usualmente con la cantidad de bentonita del 12% al 16%.

TIERRAS DIATOMACEAS.

Requieren de altos porcentajes de agua; pueden usarse para cementos de peso ligero y es más expansiva que la bentonita. Cuando se usa en altos porcentajes no incrementa la viscosidad de la lechada, como lo causa la expansión de la arcilla.

GILSONITA.

Es una lechada de cemento la gilsonita actúa como un aditivo de peso ligero y como un agente de pérdida de circulación; se emplea en partículas de 0.635 cm. Para una densidad de 0.8 gr/cm³ se requieren cerca de 2.67 por 10⁻⁴ l/cm³. La gilsonita de una densidad específica de 1.07 es buena para reducir la densidad y no cambia en forma notoria el tiempo de bombeabilidad de algunas clases de cemento API; se prepara generalmente con cementos de clase A, B & G.

PERLITA EXPANDIDA.

Es un material volcánico que se extrae, muele, se

-lecciones y expande por calor para formar un producto celular de peso extremadamente bajo. Originalmente fué manufacturado para crear concretos de peso ligero; ahora se usa en cementos para pozos de aceite con una cantidad pequeña de bentonita de 2% al 6%. Ayuda a prevenir la segregación de las partículas de perlita de la lechada.

La densidad final de la lechada depende de cuantos poros se mantienen cerrados en la perlita y de cuanta agua es inmovilizada por los poros abiertos, por lo que las lechadas que contienen perlita se mezclan con una cantidad de agua que permite que la lechada de cemento permanezca bombeable en el fondo del pozo.

NITROGENO.

El nitrógeno se inyecta antes que la lechada para ayudar a reducir la presión hidrostática del agujero durante las operaciones de cementación. Las técnicas usadas para la inyección del nitrógeno son:

- a).- El nitrógeno se introduce dentro del lodo de perforación en forma de chorro, adelante de la lechada de cemento.

- b).- Con el agujero lleno de lodo y establecida la circulación, se para ésta y se introduce un tapón de nitrógeno antes del cemento.

IV.4 ADITIVOS PESADOS.

Estos aditivos se usan en las lechadas de cemento para contrarrestar las altas presiones encontradas frecuentemente en pozos profundos. Para incrementar la densidad en la lechada de cemento un aditivo deberá:

- a) Tener una densidad de 4.5 a 5.
- b) Tener un contenido bajo de agua.
- c) No reducir significativamente el esfuerzo a la compresión.
- d) Tener poco efecto sobre el tiempo de bombeabilidad.
- e) Tener un tamaño uniforme de partícula.
- f) Ser químicamente inerte y compatible con otros aditivos.
- g) No interferir en los registros de los pozos.

ADITIVOS PESADOS MAS COMUNES	CANTIDAD USADA (% peso de Cemento)
Hematita	4 a 10%
Fierro y Oxido de Titanio	5 a 100

Barita	10 a 108
Arena	5 a 25
Sal	5 a 16
Cemento con Dispersantes y	
Reductores de Agua	0.05 a 1.75

IV.5 RETARDADORES.

En las perforaciones donde la temperatura es de - 76°C a 260°C, los cuales se encuentran a profundidades de 1,800 m. a 7,600 m., para evitar que el cemento se frague demasiado rápido, los retardadores se agregan a las lechadas limpias.

Los retardadores son compatibles con varios aditivos usados en los cementos; los más comunes son - la lignina (ácido lignosulfónico de sal), gomas, almidones, ácidos orgánicos débiles y derivados de la sal celulosa. Los cementos básicos G y H - pueden usarse a 2,400 m. y con retardadores se -- usan a profundidades tan grandes como 9,100 m.

Los aditivos con una alta relación de agua re - - quieren retardadores adicionales para ejecutar un considerable tiempo de bombeabilidad, esto se debe a que:

- a) Los materiales con grandes superficies de área generalmente necesitan grandes volúmenes de -- agua, de la cual una parte será absorbida por el retardador y la otra por el cemento.
- b) El agua adicional diluye el retardador y reduce su eficiencia.

Los retardadores más comunes son:

- Retardadores de Lignina
- Acido Orgánico
- Carboximetil-hidroxietyl celulosa (CMHEC)
- Agua Saturada de Sal

RETARDADORES DE LIGNINA.

Estos retardadores pueden ser el lignosulfanato de calcio y el lignosulfanato de calcio-sodio. -- Son derivados de la madera que generalmente se -- usan en porcentajes de 0.1 a 1 por 43 Kg por saco de cemento y se usan muy frecuentemente para re-- tardar los cementos a profundidades de 3,700 m. a 4,300 m., donde los rangos de temperatura son de 127°C a 143°C; también se usan para incrementar la bombeabilidad de los cementos clase D y E, en pozos con temperaturas mayores de 149°C. Pero no

son tan efectivos como los lignosulfanatos modificados con ácidos orgánicos.

CNHEC.

Es un derivado soluble de la madera y actúa como un retardador altamente efectivo; se usa en concentraciones arriba de 0.70% junto con la adición de agua extra para controlar la viscosidad de la lechada. De 3.02 a 3.785 litros de agua por saco de cemento se pueden adicionar. El rango de porcentaje usado es de 0.1 a 1.5 por peso de la lechada; las altas concentraciones son necesarias para retardar la lechada a temperaturas superiores a los 149°C. El CNHEC es compatible con todas las clases de cementos API, sirviendo como retardador y para controlar la pérdida de fluidos.

AGUA SATURADA DE SAL.

El agua saturada de sal mezclada con cemento seco da bastante bombeabilidad a los cementos de clase A, G y H que se utilizan a profundidades de 3,000 m. a 3,600 m. y a temperaturas de 110°C a 127°C.

Para cementaciones a través de formaciones saladas las lechadas se saturan generalmente de sal; pero, para esquistos y arenas bentoníticas, los cuales son sensibles al agua dulce, se utilizan concentraciones de sal adecuadas.

ACIDOS ORGANICOS.

Es un retardador más potente que los lignosulfatos ya que logra aumentar el tiempo de espesamiento con poco deterioro en la resistencia inicial a la compresión, por lo que se mejora la bombeabilidad de la mezcla. Se usan generalmente para profundidades mayores de los 3,600 m. en proporciones hasta del 2%.

IV.6 ADITIVOS PARA CONTROLAR LA PERDIDA DE CIRCULACION.

Para combatir la pérdida de circulación por fracturas inducidas durante la perforación o terminación de un pozo, generalmente se siguen dos técnicas:

En la primera se reduce la densidad de la lechada y en la segunda se utiliza un material obturante.

Otra técnica es la de adherir nitrógeno al sistema de lodo.

IV.7 ADITIVOS PARA CONTROLAR LA FILTRACION.

La pérdida de fluidos en las lechadas de cemento se controla con aditivos para prevenir la prematura deshidratación o pérdida de agua en zonas porosas particularmente durante las cementaciones de tuberías.

En 30 minutos la pérdida del filtrado en lechadas de cementos clase G ó H es de 1,000 c.c.

Los materiales más usados para el control del filtrado son la celulosa, la cual es un polímero orgánico, y los reductores de fricción. Los componentes de alto peso molecular de la celulosa ocasionan menos pérdida de agua en todos los componentes de la cementación con concentraciones de 0.5% a 1.5% por peso de cemento. La cantidad de agua va a determinar la viscosidad de la lechada; por ejemplo para el cemento clase A se necesitan 21 litros de agua por saco.

Los reductores de fricción son comúnmente agregados a las lechadas de cemento para el control de-

filtrado por dispersión y pérdida de masa de las partículas de cemento y así densificar la lechada. Son especialmente efectivos cuando la relación de agua-cemento es reducida.

IV.8 REDUCTORES DE FRICCIÓN.

Las lechadas con reductores de fricción tienen baja viscosidad y pueden bombearse en flujo turbulento a bajas presiones minimizando la potencia requerida y disminuyendo los peligros de pérdida de circulación y deshidratación prematura. Estos dispersantes bajan el punto de cedencia y el gel de la lechada. Los dispersantes que comúnmente se agregan a las lechadas de cemento son:

- a) Polímeros.
- b) Agentes controladores de pérdida de fluido.
- c) Sal.

Estos son usados a bajas temperaturas porque solo retardan a los cementos en forma ligera; los lignosulfonatos de calcio retardan en mayor grado por lo que generalmente se usan a altas temperaturas.

POLINEROS.

Los polímeros son manufacturados en forma de polvo y producen extraordinarias y provechosas propiedades en el cemento; no afectan grandemente a las lechadas retardandolas o acelerandolas y reducen bastante la viscosidad aparente; se colocan a temperaturas de 15°C a 149°C.

A pesar de reducir la viscosidad, los polímeros no ocasionan una separación excesiva de agua libre o el asentamiento de las partículas de cemento. Además, son compatibles con casi todos los tipos de cemento excepto con aquellos que contienen alta concentración de sal. Después de 10 ó 20 minutos de mezcladas causan un gran incremento en la viscosidad.

SAL.

La sal común actúa como un agente ponderante, como acelerador y como retardador. Aunque también puede actuar como un dispersante en muchas composiciones de las cementaciones.

Especialmente es efectiva para la reducción de la viscosidad aparente de las lechadas que contienen bentonita, tierras diatomáceas o puzolanas. Generalmente la sal se utiliza para colocar más fácilmente el cemento en formaciones saladas y en formaciones que contienen esquistos ocasionando que el cemento se ensanche.

Las lechadas que contienen sal ayudan a controlar la pérdida de circulación; éstas lechadas contienen del 5% al 20% de sal.

Cuando el agua salada es mezclada con cemento se presenta espuma durante un tiempo haciendo más difícil el control de peso de la lechada y el volumen. Esto puede evitarse al agregar agentes antiespumantes. El uso de sal en las lechadas de cemento produce efectos similares sobre las propiedades de todas las clases de cemento API y sobre los cementos puzolánicos y bentoníticos.

El Cloruro de Potasio en algunos casos puede ser más efectivo que el cloruro de sodio en bajas concentraciones; esta diferencia se presenta cuando la viscosidad de la lechada es excesiva.

IV.9 ADITIVOS ESPECIALES.

Los aditivos especiales más comúnmente usados son:

- Lodos descontaminantes.
- Harina de Sílice.
- Indicadores radioactivos.
- Tintes.
- Fibras.
- Hidracina.
- Yeso.

Lodos Descontaminantes.

El paraformaldehído o la combinación de éste con cromato de sodio se usan para minimizar los efectos de retardo en el cemento de varios lodos químicos de perforación.

Un lodo descontaminante consiste en la mezcla de paraformaldehído y cromato de sodio en un 60% y 40% respectivamente, neutralizando cierto lodo tratado químicamente. Estos lodos son efectivos comparados con taninos, lignitos, celulosa, lignosulfatos, cromolignitos, etc. Estos lodos se usan principalmente para trabajos de taponamiento en

agujero abierto, en tuberías cortas y para cementaciones forzadas.

Harina de Sílice.

La Harina de sílice se usa comúnmente en las cementaciones para ayudar a prevenir la pérdida de la resistencia a la compresión, a temperaturas mayores de 110°C; se disminuye esta resistencia en todos los cementos. Esta disminución en la resistencia va acompañado por un incremento en la permeabilidad, la cual es causada por la hidratación del silicato de calcio al colocarse el cemento. - Agregando una alta relación de agua con bentonita se acelera la disminución del esfuerzo a la compresión; la Harina de sílice puede adherirse a toda clase de cementos API para prevenir la pérdida de resistencia que ocurre con el tiempo y a altas temperaturas.

La cantidad óptima de Harina de sílice para controlar la pérdida de la resistencia a la compresión es de 30% a 40%; se necesita de un 40% de agua para dar una densidad de la lechada de 2.4 gr/cm³ y el tamaño de partícula tiene un rango de

mallas de 50 a 150.

Indicadores Radioactivos.

Estos indicadores radioactivos se agregan a las lechadas de cemento y pueden detectarse por un aparato registrador; sirven para localizar el cemento. Los isótopos comúnmente usados en el fondo del agujero tienen un promedio de vida de 8 a 84 días.

Tintes para Cemento.

Cantidades pequeñas de tintes indicadores se usan para identificar un cemento de otro. Cuando el lodo está contaminado puede oscurecerse y manchar -- los tintes, volviéndose más inefectivos.

Hidracina.

La hidracina es un aditivo usado para tratar la columna de lodo que se encuentra arriba del cemento para minimizar los problemas de corrosión en la parte del agujero que no contiene cemento. Se necesitan 1.3 Kg de 35% de solución para remover --

0.5 Kg de oxígeno. Generalmente se usan 23 l. o-
35% de hidracina en solución por cada 15,900 l. -
de lodo.

La hidracina es un compuesto que deja escapar gas
por lo que se maneja con precaución ya que es ex-
plosivo y la cantidad a mezclarse debe ser calcu-
lada con exactitud.

Fibras.

Las fibras son un material sintético frecuentemen-
te usado en concentraciones de 0.056 a 0.23 Kg --
por saco para reducir los efectos de rompimiento-
o destrucción parcial por la perforación. Los ma-
teriales fibrosos transmiten los esfuerzos más li-
geros a través del cemento, mejorando la resisten-
cia al impacto y al rompimiento. La fibra más --
conveniente es el nylon que tiene una longitud ma-
yor de 2.54 cm., es resistente, tiene alto esfuer-
zo cortante y es resistente a la tensión.

Yeso.

Se agrega del 4% al 10% de yeso al cemento por --

-tland para realizar un fraguado rápido para combatir la pérdida de circulación, para proporcionar propiedades tixotrópicas y de la expansión apropiada al colocarse el cemento.

Agregando el 30% al 50% de yeso a algún cemento -- portland produce un fraguado rápido en 12 o 20 minutos aún cuando la lechada esté en movimiento y es muy efectivo en monas saladas o en zonas de pérdida de circulación, en pozos profundos. Para formaciones inconsolidadas, de alta permeabilidad, -- fracturadas o cavernosas, se agrega a la lechada de cemento un 5% a 10% para aumentar rápidamente la gelatinosidad, cuando está en estado estático. Esta propiedad ayuda a la lechada a pasar por formaciones permeables.

El yeso es usado principalmente en pozos donde las profundidades son de 1,800 m.; se agrega a los cementos de clase A, G ó H, en concentraciones del 3% al 6%.

CONCLUSIONES

Se puede concluir que los cementos más utilizados en pozos petroleros mantienen las especificaciones del API, debido a sus características y propiedades que presentan para los diferentes rangos de presión y temperatura existentes en el fondo del pozo.

De los cementos que entran en esta clasificación de mayor uso en México para los diferentes trabajos de cementaciones es el cemento clase G, el cual dentro de sus propiedades es que puede emplearse con aceleradores y retardadores para cubrir una amplia gama de profundidades y temperaturas, al utilizarse aditivos puede reemplazar a cualquier otro cemento de la clasificación API.

También se dan algunos de los cementos que se utilizan en un pozo con determinadas condiciones. Como por ejemplo: cuando se esta perforando una formación salina, dado que una lechada común se contaminaría con la sal, se utiliza cemento salado. Otro caso es el de que cuando existe una pérdida de fluido en una formación muy permeable o fracturada, se puede utilizar la gilsonita, la cual servirá como obturante.

Un problema significativo es el de la eficiencia de remover los fluidos de perforación durante su-

desplazamiento ya que la contaminación y disolución por el lodo puede dañar los sistemas de cementación.

Algunas de las contaminaciones de este tipo ocurren probablemente cuando el cemento se contamina con un lodo, tratado en exceso con reactivos químicos; como el volumen del cemento en relación al volumen del lodo es pequeño, el grado de contaminación no se determina nunca.

El ablandecimiento de un tapón de cemento al ser perforado es signo de contaminación: para evitar los efectos perjudiciales de los aditivos del lodo se usan tapones limpiadores y baches de agua. Estos tapones limpiadores ayudan a eliminar la contaminación en el interior de la tubería y los baches de agua sirven para limpiar el espacio angular entre la tubería y la formación.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Smith, D.K; "CEMENTING"
Volume # 4 Monograph series. SPE of AIME
- 2) Georg O. Suman, Jr and Richard c. Ellis; "CEMENTING
OIL AND GAS WELLS" World oil
- 3) "CEMENTING SERVICES" Halliburton Company
- 4) "WELL COMPLETIONS, WORKOVER AND STIMULATION"
Production Operations Vol. #1
- 5) "Pruebas de Cementos en Pozos Petroleros y Aditivos -
para Cementos" Instituto Americano del Petróleo, Re-
comendada por el API
- 6) "Curso de Cemento 1972" lecciones 3a y 7a Administra-
ción y Asesoría, Departamento Químico. HOLDERRANK
- 7) Robert C. Cole, Halliburton Services; "EPOXY SEALANT
FOR COMBATING WELL CORROSION" SPE, 7874
- 8) Robert C. Smith, Charles A. Powers and Terrell A. --
Dobkins "A NEW ULTRA LIGHT-WEIGHT CEMENT WITH SUPER-
STRENGTH" SPE 8256
- 9) Franco D' Orazio P "DETERMINACION DE ALGUNAS PROPIE-
DADES FISICAS DEL CEMENTO MEDIANTE CORRELACIONES DE-
LABORATORIO" Primer Congreso Latinoamericano de Per-
foración

Mendoza, República Argentina 1978.

T A B L A 2-1

COMPOSICION TIPICA DEL CEMENTO PORTLAND.

CLASE	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	$CaSO_4$	FINURA
A	53	24	8	8	3.5	1600 - 1900
B	47	32	3	12	2.9	1500 - 1900
C	58	16	8	8	4.1	2000 - 2400
D, E, F	26	54	2	12	3.0	1200 - 1500
G	52	32	3	12	3.2	1400 - 1600
H	52	32	3	12	3.3	1200 - 1400

COMPONENTE	FORMULA	DESIGNACION COMUN
ALUMINATO TRICALCICO	$3CaO \cdot Al_2O_3$	C_3A
SILICATO TRICALCICO	$3CaO \cdot SiO_2$	C_3S
SILICATO DICALCICO	$2CaO \cdot SiO_2$	C_2S
ALUMINOFERRATO TETRA - CALCICO.	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	C_4AF

TABLA 2-2

CLASE A. P. I.	AGUA DE LA MEZCLA 1/SACO	DENSIDAD DE LA LECHADA gr/ml	PROFUNDIDAD DE EL POZO m	TEMPERATURA ESTATICA °C
A (PORTLAND)	19.6	1.87	0-1830	27-77
B (PORTLAND)	19.6	1.87	0-1830	27-77
C (ALTA RE - SISTENCIA)	23.8	1.78	0-1830	27-77
D (RETARDADO)	17.0	1.94	1830-3050	77-145
E (RETARDADO)	17.0	1.94	3050-4270	77-145
F (RETARDADO)	17.0	1.94	3050-4880	110-160
G (BASICO CA - LIFORNIA)	18.9	1.90	0-2440	27-94
H (BASICO - COSTA DEL - GOLFO)	17.0	1.94	0-2440	27-94

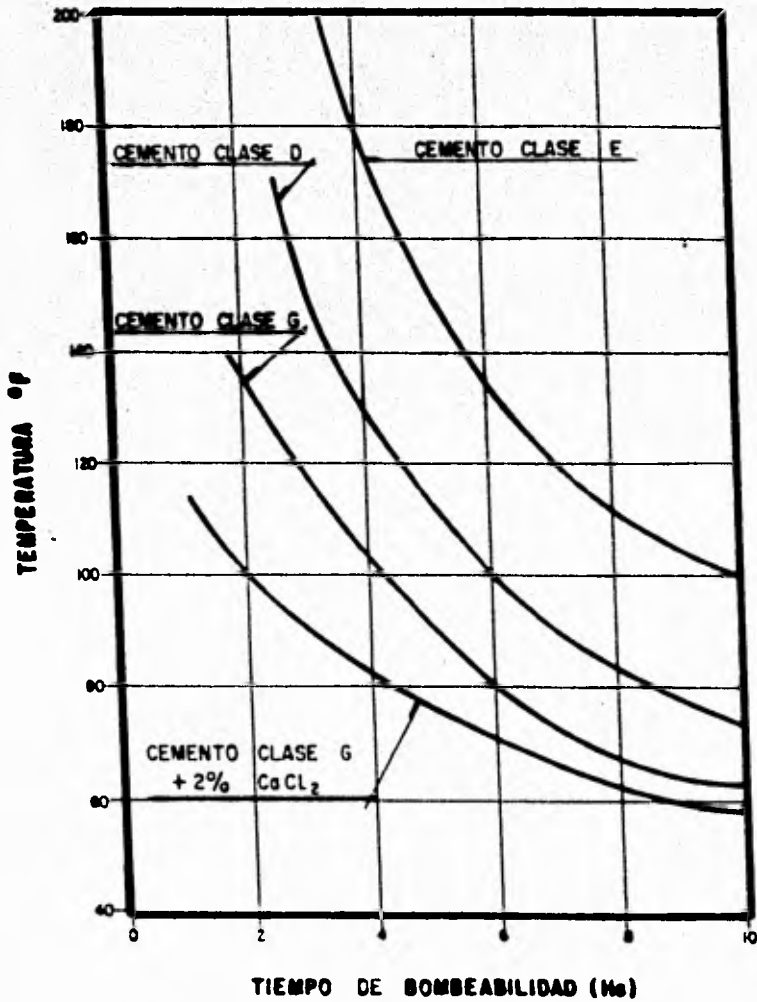
TABLA 3-1
PROPIEDADES DE LOS CEMENTOS API

CLASE DE CEMENTO	DENSIDAD	AREA DE CONTACTO cm ² / gm.	PESO Kg.	VOLUMEN ABSOLUTO 1/SACO
A	3.14	1500 - 1900	43	13.62
C	3.14	2000 - 2800	43	13.62
G y H	3.15	1400 - 1700	43	13.58
D y H	3.16	1200 - 1600	43	13.57

ANALISIS DE OXIDOS DEL CEMENTO PORTLAND "G" ó "H"

OXIDO	PORCENTAJE
OXIDO DE SILICE (SiO ₂)	22.43
OXIDO DE CALCIO (CaO)	64.77
OXIDO DE FIERRO (Fe ₂ O ₃)	4.10
OXIDO DE ALUMINIO (Al ₂ O ₃)	4.76
OXIDO DE MAGNESIO (MgO)	1.14
TRIOXIDO DE SULFURO (SO ₃)	1.67
OXIDO DE POTASIO	0.08
PERDIDA POR IGNICION	0.94

FIG. 4-1



ADITIVOS PARA CONTROLAR LA DENSIDAD DE LA LECHADA

ADITIVO	CONCENTRACION (Kg/saco)	CONTENIDO DE AGUA (l/saco)	DENSIDAD (gr/cm ³)
TIERRAS DIATOMACEAS	18.18	94.60	1.32
BENTONITA + DISPERSANTE	5.5 + 0.5	49.20	1.44
BENTONITA	3.4	39.70	1.56
PUZOLANAS	23.0	22.70	1.68
DISPERSANTES	0.5	15.14	2.04
DISPERSANTES + EL PESO DEL MATERIAL	0.5 + 5.5	15.14	2.16

TABLA 4 - 2

EFECTO DE LA PRESION SOBRE EL TIEMPO DE BOMBEABILIDAD

PRESION (Kg/cm ²)	TIEMPO DE BOMBEABILIDAD (h : min.)	TEMPERATURA ESTATICA (°C)	TEMPERATURA CIRCULANDO(°C)	PROFUNDIDAD (m)
352	2:10	110	62	3048
704	1:34			
1056	1:18			
704	8:35	143	97	4267
1056	5:19			
1408	1:14			
704	4:11	160	120	4877
1056	3:39			
1408	2:30			
1760	2:08			

ACELERADORES COMUNMENTE USADOS

ACELERADOR	CANTIDAD USADA (%)	TIPO DE CEMENTO
CLORURO DE CALCIO	2 - 4	CEMENTOS API
CLORURO DE SODIO	3 - 10	CEMENTOS API
SILICATO DE SODIO	1 - 75	CLASES A, B, C, G ó H
AGUA DE MAR		CLASES A, B, C, D, E, G ó H
CEMENTOS CON DISPERSANTES Y REDUCTORES DE AGUA	0.5 - 1	CLASES A, B, C, G ó H

EFECTOS DE LOS ACELERADORES SOBRE EL TIEMPO DE BOMBEABILIDAD

CLORURO DE CALCIO (%)	PROFUNDIDAD (m)			
	30.4	60.9	121.9	182.8
0	4:40	4:12	2:30	2:25
2	1:55	1:43	1:26	1:10
4	0:50	0:52	0:50	0:58

CLORURO DE SODIO (%)	PROFUNDIDAD (m)			
	30.4	60.9	121.9	182.8
0	4:40	4:12	2:30	2:25
2	3:05	2:27	1:52	1:13
4	3:05	2:35	1:35	1:20

EFFECTO DE LOS ACELERADORES SOBRE EL ESFUERZO A LA COMPRESION

CLORURO DE CALCIO %	TIEMPO DE CURADO (h)	TEMPERATURA (°C)		
		4	16	27
0	24	2	66	136
0	48	36	149	276
2	12	5	55	108
2	24	30	161	280
4	12	1	67	118
4	24	28	170	280

CLORURO DE SODIO	TIEMPO DE CURADO	5°C y 56 Kg/cm ² 27°C y Patm 35°C y Patm		
		5°C y 56 Kg/cm ²	27°C y Patm	35°C y Patm
0	24	66	136	192
0	48	149	276	339
2	12	20	68	112
2	24	87	159	225
4	12	20	81	108
4	24	98	164	222

ADITIVOS DE BAJA DENSIDAD

MATERIAL	CANTIDAD USADA (%)
BENTONITA	2 - 16
BENTONITA PREHIDRATADA	2 - 16
CEMENTOS MODIFICADOS	2 - 16
CEMENTOS SALADOS DE ALTA-GEL	2 - 16
NITROGENO	0 - 70
TIERRAS DIATOMACEAS	10, 20, 30 ó 40
GILSONITA	0.45 - 23 (Kg/SACO DE CEMENTO)
PERLITA EXPANDIDA	2.30 - 9 (Kg/SACO DE CEMENTO)

EFECTOS DE LA BENTONITA SOBRE EL ESFUERZO A LA COMPRESION (E_c) Y SOBRE EL TIEMPO DE BOMBEABILIDAD (t_B)

BENTONITA (%)	CANTIDAD DE AGUA (l/SACO)	DENSIDAD (gr/cm^3)	TIEMPO DE BOMBEABILIDAD (h:min)			ESFUERZO A LA COMPRESION (Kg/cm^2) DESPUES DE 24h.		
			1219 m	1829 m	2438 m	16°C	27°C	43°C
0	19.6	1.87	4:04	3:12	2:26	13	67	137
2	24.6	1.75	3:15	2:27	1:44	9	47	92
4	29.5	1.69	3:04	2:26	1:43	6	30	58
6	34.4	1.62	2:52	2:09	1:58	4	20	38
8	39.4	1.57	2:58	2:17	1:43	3	13	20

- 83 -

PROPIEDAD DE LOS CEMENTOS DE ALTA - GEL

SAL Y BENTONITA (%)	LIGNOSULFATO DE CALCIO (%)	CANTIDAD DE AGUA (l/SACO)	TIEMPO DE BOMBEABILIDAD (h:min)			
			609 m	1219 m	1829 m	2438 m
19	0.0	49.2	2:48	2:34	2:00	1:12
19	0.1	49.2	3:00	3:08	2:20	1:23
19	0.2	49.2	3:00	3:27	2:05	1:16
19	0.4	49.2	3:00	3:00	2:54	2:05

RETARDADORES

MATERIAL	CANTIDAD USADA (%)
LIGNINA RETARDADORA	0.1 — 1.0
LIGNOSULFANATO DE CALCIO	0.1 — 2.5
CARBOXIMETIL - HIDROXIETIL CELULOSA	0.1 — 1.5
SAL	6.4 — 7.3 (Kg/SACO)

CONTROLADORES DE PERDIDA DE FLUIDO

ADITIVO	CANTIDAD USADA (Kg/SACO)	CANTIDAD DE AGUA USADA (l/Kg)
GILSONITA	2.3 — 22	0.33
PERLITA	0.22 — 0.45	0.43 (l/cm ³)
CARBON	0.45 — 4.50	0.33
NYLON	0.056 — 0.11	
CEMENTO - YESO		0.39
CEMENTO PORTLAND - YESO	10 — 20% YESO	0.45
CEMENTO - BENTONITA	10 — 25% GEL.	45 — 61 (l/SACO)

REDUCTORES DE FRICCION

MATERIAL	CANTIDAD USADA (%)
POLIMERO MEZCLADO	0.14 — 0.23
POLIMERO DE CASENA LARGA	0.23 — 0.68
CLORURO DE SODIO	0.45 — 7.30
LIGNOSULFANATO DE CALCIO	0.23 — 0.68

ADITIVOS ESPECIALES

MATERIAL	CANTIDAD USADA (% POR PESO DE CEMENTO)
LODOS DESCONTAMINANTES	1.0
MARINA DE SILICE	30 — 40
INDICIOS RADIOACTIVOS	VARIABLES
TINTES	0.1 — 1.0
FIBRAS	0.125 — 0.50
YESO	4 — 10

PIGMENTOS Y TINTES PARA COLOREAR EL CEMENTO

PIGMENTOS	CANTIDAD USADA (%)	COLOR DE LA LECHADA
OXIDO NEGRO	0.1	GRIS OSCURO CON RAYAS NEGRAS
OXIDO AMARILLO	0.1	VERDE OLIVO
OXIDO DE FIERRO	0.1	CAFE CLARO CON RAYAS NARANJAS

TINTES

FLUORESCENTE	0.1	VERDE
FENOFTALEINA	0.1	MORADO
METILENO AZUL	0.1	AZUL

		BENTONITA	TIERRAS DIATOMACEAS	PUZOLANA	ARENAS	ADITIVOS DE PELLO PEGAJOS	ACELERADORES	CLORURO DE SODIO	RETARDADORES	REDUCTORES DE FRACTURAS	ADITIVO CON EFECTO CONTROLES DE AGUA	ADITIVO DE PERDIDA DE CIRCULACION
DENSIDAD	DECREMENTA AUMENTA	1	1	1	1	1		2				
AGUA REQUERIDA	MEJOR MAYOR	1	1	2	2					2		2
VISCOSIDAD	DECREMENTA INCREMENTA	2	2	2	2	2	2	2	1	1		2
TIEMPO DE ESPESAMIENTO	ACELERA RETARDA	2	2				1	1	1	2	2	
RESISTENCIA INICIAL A LA COMPRESION	DECREMENTA INCREMENTA	2	2	2			1	1	1	2	2	2
RESISTENCIA FINAL A LA COMPRESION	DECREMENTA INCREMENTA	1	1	2		2			2	2	2	2
DURABILIDAD	DECREMENTA INCREMENTA	2	2									2
PERDIDA DE AGUA	DECREMENTA INCREMENTA	1	2						2	2	1	2

1.- MAYOR EFECTO

2.- MENOR EFECTO

EFFECTOS DE LOS ADITIVOS SOBRE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL CEMENTO.