

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO FACULTAD DE INGENIERIA

* UNAM *

TESINA: CARACTERISTICAS DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO.

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN INGENIERÍA
(CONSTRUCCIÓN) PRESENTA:

ALUMNA: DURAN SALDIVAR MARIA LUISA.

PROFESOR: DR. GABRIEL DUVINET GUICHARD

MEXICO, D.F. A 7 DE SEPTIEMBRE DE 1989.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

I N D I C E

CAPITULO TEMA PAGINA.

I	INTRODUCCION -----	4
II	AGREGADOS (GRAVA Y ARENA).-----	6
	- Granulometria.-----	6
	- Granulometria del agregado grueso.-----	7
	- Forma de las partículas y textura superficial.-----	7
	- Estabilidad química.-----	8
	- Resistencia a abrasión.-----	10
	- Resistencia a la congelación y al deshielo.-----	10
	- Peso unitario a granel o peso volumétrico.-----	11
	- Peso específico.-----	11
	- Absorción y humedad superficial.-----	11
	- Substancias deletéreas.-----	13
	a) Impurezas orgánicas.-----	13
	b) Recubrimientos.-----	14
	c) Partículas inestables.-----	14
	- Características particulares. (Si es agregado natural, triturado, artificial, especial.)-----	15
	1.- Agregados naturales.-----	16

	a) Abanicos aluviales.-----	16
	b) Depósitos de terrazas.-----	16
	c) Planicies de inundación-----	16
	- Depósitos lacustres.-----	17
	- Dunas.-----	17
	- Depósitos residuales.-----	19
	2.- Agregados triturados-----	17
	3.- Agregados artificiales.-----	18
	4.- Agregados especiales.-----	18
III	FABRICACION DEL CEMENTO -----	20
	- Composición química.-----	29
	- Trióxido de azufre, SO ₃ .-----	30
	- Acido cálcico libre, CaO.-----	31
	- Óxido magnésico, MgO.-----	31
	- Pérdida al fuego.-----	31
	- Residuo insoluble.-----	31
	- Alcalis totales.-----	31
	- Clasificación (Cemento Portland).-----	32
	- Tipo I (Normal).-----	32
	- Tipo II (de calor moderado).-----	32
	- Tipo III (Fraguado rápido y alta resistencia temprana).-----	33
	- Tipo IV (de bajo calor de hidratación).-----	33
	- Cementos Portland inclusores de aire.-----	33
	- Cementos Portland blanco.-----	33
	- Cementos compuestos.-----	34
	- Cementos Portland Puzolana.-----	34
	- Cementos Portland de alto horno.-----	34

	- Cementos especiales.-----	39
	- Características físicas y mecánicas.-----	41
	- Finura del molido.-----	41
	- Peso específico.-----	42
	- Fraguado.-----	42
	- Expansión en auto-clave.-----	43
	- Resistencias mecánicas.-----	44
IV	GENERALIDADES.-----	45
	- Agua perjudicial y no perjudicial.-----	46
	- Agua de mar.-----	47
	- Análisis del agua.-----	48
V	ADITIVOS.-----	51
	- Aditivos reductores de agua normales. (Fluidificantes, Auxiliares de Trabajabilidad.-----	54
	- Aditivos retardantes.-----	56
	- Aditivos retardantes reductores de agua.-----	57
	- Aditivos acelerantes.-----	58
	- Aditivos superfluidificantes.-----	59
	- Aditivos inclusores de aire.-----	62
VI	CONCLUSIONES-----	64

CAPITULO I

INTRODUCCION.



DEPFI



DEPFI

T. UNAM
1 9 8 9
DUR

Quién es el causante de las reacciones químicas que se realizan?, son importantes todos los componentes o es posible eliminar alguno de ellos?, qué son y porqué el uso de aditivos provocan mejoría o causan más daño que bien?

El presente trabajo tiene por objeto responder a todas estas preguntas.

La forma de atacar el problema es el siguiente :

- Investigar las características más importantes de cada uno de sus componentes; primeramente se estudiará en el capítulo II: Agregados (grava y arena); en el capítulo III : Cemento; en el capítulo IV : agua; en el capítulo V : aditivos y en el capítulo VI se dan las conclusiones de lo estudiado en los capítulos anteriores.

Esperando como fin del presente, el aprovechamiento de estos conocimientos en el amplio mundo de la construcción.

CAPITULO II

Agregados (Grava y Arena)

GRANULOMETRIA

La granulometría o distribución de diámetros de las partículas de agregado se determina mediante un análisis granulométrico.

Existen varias razones para especificar los límites granulométricos y el diámetro máximo del agregado: éstos dos factores influyen en las proporciones relativas del agregado, así como en los requisitos del cemento y agua en la trabajabilidad, en la economía, en la porosidad y en la contracción del concreto. Las variaciones en la granulometría de los agregados pueden afectar seriamente la uniformidad del concreto de un lote a otro. Las arenas muy finas no suelen ser económicas, y las muy gruesas pueden producir mezclas duras y difíciles de manejar. En general, los agregados que no tienen gran deficiencia o exceso de un tamaño de partícula en especial y que registran una curva granulométrica suave, proporcionan los resultados más satisfactorios.

1.- GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO.

Los requisitos de la ASTM C - 33 permiten una escala de granulometría de agregados finos relativamente amplia, pero las especificaciones de otras organizaciones son en ocasiones más estrictas.

En general, si la relación agua/cemento se mantiene constante y la relación del agregado fino con el agregado grueso se escoge en la forma correcta, se puede utilizar un amplio rango de granulometría sin que esto produzca un efecto considerable en la resistencia.

2.- GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO.

La granulometría de un agregado grueso con determinado diámetro máximo puede variar dentro de una escala bastante amplia, sin producir un efecto apreciable dentro de los requisitos de cemento y de agua, si la proporción de agregados finos produce un concreto de buena trabajabilidad. Si tienen lugar variaciones amplias en la granulometría del agregado grueso, las proporciones de la mezcla deben modificarse también para obtener concreto trabajable.

Puesto que dichas variaciones son difíciles de anticipar suele ser más económico mantener la uniformidad en el manejo y la fabricación del agregado grueso, que ajustar las proporciones a causa de las variaciones en la granulometría.

El diámetro máximo del agregado grueso utilizado en el concreto tiene relación con la economía. La cantidad de agua requerida por metro cúbico de concreto para una consistencia y un agregado grueso determinado es sustancialmente constante en una escala muy amplia de requisitos del cemento.

El tamaño máximo de agregado que se puede utilizar depende de las dimensiones y la forma de los elementos que se van a construir con el concreto, así como de la cantidad y distribución del acero de refuerzo.

FORMA DE LAS PARTICULAS Y TEXTURA SUPERFICIAL.

La forma de las partículas y la textura superficial de un agregado influyen en las propiedades del concreto fresco más que en las del concreto ya endurecido.

Las partículas de textura rugosa, o bien las planas y alargadas, requieren más agua para producir un concreto trabajable que las partículas redondas o cúbicas.

Por lo tanto, las partículas de agregado angulares requieren más cemento y más agua. Los agregados triturados y no triturados proporcionan por lo general la misma resistencia con el mismo contenido de cemento.

El agregado debe tener partículas cortas y gruesas y no demasiadas piezas planas y alargadas (se permite un 15% máximo en peso del agregado total de acuerdo a la Norma CRD - 119). Deben eliminarse las piezas largas y astilladas de agregado.

Este requisito es también muy importante en el caso del agregado fino triturado, ya que la arena elaborada con roca triturada a menudo contiene más partículas planas y alargadas.

- ESTABILIDAD QUIMICA.

Los agregados que tienen una estabilidad química agregada no reaccionarán con el cemento de manera perjudicial, ni serán químicamente afectados por otras influencias externas.

Los agregados que tienen ciertos elementos químicos reaccionan con los alcalis de cemento. Esta reacción alcali/agregado puede producir expansión anormal y agrietamientos irregulares en el concreto. Los registros de comportamiento en el campo generalmente proporcionan la mejor información para poder seleccionar agregados sin afinidad química.

Si no existen registros sobre el comportamiento del agregado y se sospecha que es inestable químicamente, las pruebas de laboratorio son bastante acertadas para determinar la calidad del mismo.

Se cuenta con tres pruebas de la Norma ASTM para identificar los agregados que reaccionan con los alcalis del cemento, dos para los de tipo silicoso y una para los de tipo carbonatado.

Además, existe una técnica de la ASTM que se recomienda para identificar ambos tipos de agregados, ésta es la ASTM-C-295, "Exámen petrográfico de agregados " el cual nos da la composición mineralógica del agregado mediante el microscopio petrográfico y así identificamos los agregados que tienen afinidad química potencial. De las tres pruebas, la ASTM-C-227, comunmente llamada "barro de mortero", se usa para determinar la afinidad química potencial expansiva entre el alcalis y la sílice de la combinación de cemento y agregado.

En esta prueba se mide la expansión a 24 hrs., 14 días, a 1 mes, 2 meses 6 meses, al menos que se desarrolla durante su almacenamiento de temperatura y humedad prescritas.

La prueba de la barra de mortero puede utilizarse para agregados finos y gruesos.

Se examinan e informan los tipos de deformación y defectos adquiridos con el tiempo, se consideran no aceptables expansiones mayores del 10.00% en 6 meses.

La segunda prueba de ASTM- C- 289, conocida con el nombre de "prueba química rápida", se usa para identificar los agregados silicosos con afinidad química potencial. Puede hacerse ésta prueba en dos o tres días. Las conclusiones se basan en la intensidad de la reacción que ocurre entre una solución de hidróxido de sodio y una muestra triturada del agregado en cuestión.

Debido a la influencia de algunos minerales en los resultados de las pruebas, la prueba química rápida deberá acompañarse de un análisis petrográfico; sin embargo, con ninguno de ellos se puede tener la seguridad de que la cantidad de material con afinidad química sea lo suficientemente pequeña como para que no se produzca una expansión anormal.

La tercera prueba, la ASTM-C-586, comunmente conocida como la prueba del cilindro de roca, se usa para detectar los agregados carbonatados potencialmente expansivos.

Los cambios de longitud se determinan cuando la muestra está sumergida en una solución de hidróxido de sodio. Las tendencias expansivas son usualmente observables después de 28 días de inmersión.

N O T A :

Estos ensayos analizados conjuntamente nos dan idea de la bondad o incompatibilidad que puede existir al combinar un cemento determinado con el agregado estudiado; pudiendo prevenirse los efectos desfavorables que se puedan presentar en el futuro del concreto.

- RESISTENCIA A LA ABRASION.

La resistencia a la abrasión de un agregado suele usarse como índice general de la cantidad del mismo. En la prueba de resistencia a la abrasión, (la máquina de Los Angeles) se coloca una cantidad especificada de agregados en un tambor de acero que se gira; el porcentaje de material que se esparsa (desprende) durante la prueba se determina posteriormente. Las especificaciones establecen con frecuencia un límite superior sobre ésta pérdida de peso. El ASTM- C- 131- 69 establece el 40% de pérdida máxima.

- RESISTENCIA A LA CONGELACION Y AL DESHIELO.

Una importante característica del concreto expuesto, es la resistencia a la congelación/deshielo de un agregado, que está relacionada con su porosidad, absorción y estructura del poro. Si una partícula de agregado absorbe tanta agua que el espacio de los poros resulta insuficiente para contenerla no podrá alojar la expansión del agua durante la congelación.

- PESO UNITARIO A GRANEL O PESO VOLUMETRICO.

El peso unitario a granel de un agregado es el peso de material utilizado para llenar un recipiente de volumen determinado. Se aplica el término "peso unitario a granel" debido que el volumen es ocupado por el agregado y los huecos entre cada partícula, este peso se expresa en kg/m^3 . La especificación ASTM-C- 29 indica los métodos para determinar el peso volumétrico, o peso unitario a granel de los agregados.

- PESO ESPECIFICO.

El peso específico es la relación entre su peso y el de un volumen igual de agua. La mayoría de los agregados normales tienen peso específico de 2.4 a 2.9.

El peso específico no es por sí mismo una medida de la calidad del agregado, su principal utilidad se encuentra en los cálculos de diseño y control de la mezcla.

Los métodos de prueba para determinar el peso específico de los agregados gruesos y finos, se describen en la ASTM- C- 127 y ASTM- C- 128 respectivamente.

- ABSORCION Y HUMEDAD SUPERFICIAL.

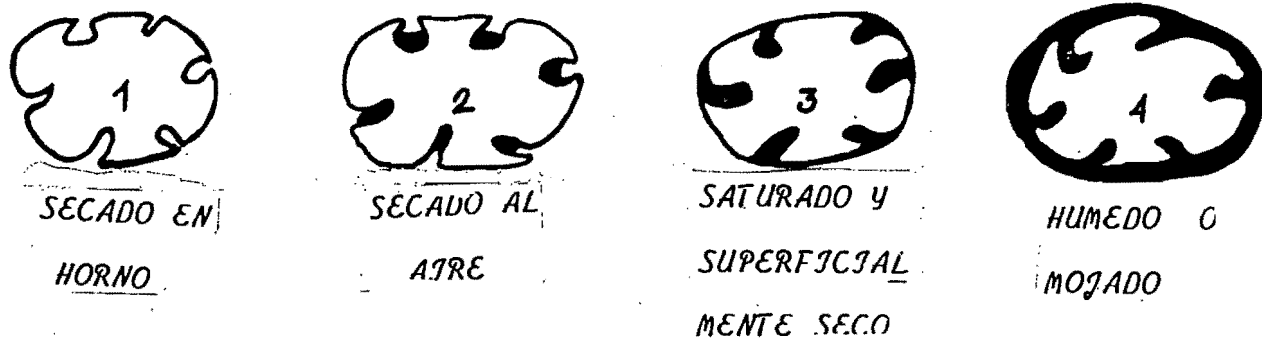
Es preciso determinar la absorción y la humedad superficial de los agregados, a fin de poder controlar el contenido neto de agua del concreto y determinar los pesos correctos de los lotes.

Las partículas de agregados están hechas de materia sólida y hueca que puede contener agua o no.

Las condiciones de humedad del agregado (figura A) se designan como sigue:

- 1.- Secado al horno: totalmente absorbente.
- 2.- Secado al aire: seco en la superficie de las partículas pero con cierta humedad interior; por lo tanto, un poco absorbente.
- 3.- Saturado y superficialmente seco: No absorbe ni contribuye con agua a la mezcla del concreto.
- 4.- Húmedo o saturado: Contiene exceso de humedad en la superficie, contribuye con agua a la mezcla.

FIGURA " A "



Los pesos de los lotes de los diversos materiales deben ajustarse a las condiciones de humedad de los agregados. El abudamiento de la arena ocurre al palear o mover el agregado fino cuando está húmedo.

La humedad superficial mantiene separadas las partículas causando un incremento en el volúmen que se conoce como "abudamiento".

El grado de abudamiento varía según el contenido de humedad y de la granulometría; las arenas finas aumentan más de volúmen que las arenas gruesas con la misma cantidad de humedad. Debido a que la mayoría de las arenas se entregan en condiciones de humedad, pueden ocurrir amplias variaciones en las cantidades dosificadas si la dosificación se hace según el volúmen. Por esta razón, no se recomienda el proporcionamiento por volúmen.

- SUBSTANCIAS DELETEREAS (Arcilla, Limo, Polvo, Partículas Inestables, Impurezas, etc...)

SUSTANCIAS PERJUDICIALES

EFFECTOS SOBRE EL CONCRETO

Impurezas orgánicas

Afectan el fraguado y el endurecimiento y pueden causar deterioro.

Materiales más finos que la malla No. 200

Afectan la adherencia e incrementa el requisito de agua y por ende afecta a la resistencia.

Carbón, lignita u otros materiales ligeros.

Afectan la durabilidad y pueden causar manchas y calavereo.

Partículas blandas.

Afectan la durabilidad.

Partículas terrosas.

Afectan la trabajabilidad y la durabilidad y pueden causar calavereo.

Las substancias deletéreas antes mencionadas se pueden agrupar en tres grandes categorías: impurezas, recubrimientos y algunas partículas individuales que son, en sí mismas, débiles o inestables.

a) Impurezas orgánicas.

Los agregados naturales pueden poseer suficiente resistencia y dureza para soportar el desgaste, pero no darán resultados satisfactorios para producir concretos si contienen impurezas orgánicas que interfieran en las reacciones químicas de hidratación.

La materia orgánica que se encuentra en el agregado suele consistir en productos de la descomposición de materia vegetal (sobre todo ácido tánico y sus derivados), y se manifiesta en la forma de humus o margas orgánicas.

Es más probable encontrar éstas substancias en la arena que en el agregado grueso, ya que en éste se lava con facilidad.

b) Recubrimientos (Arcillas, Limo, Polvo y otros).

La arcilla, limo, polvo y otros materiales finos pueden presentarse en el agregado en la forma de recubrimientos superficiales que interfieren en la adherencia entre el agregado y la pasta de cements como una buena adherencia, resulta indispensable para obtener una resistencia satisfactoria y buena durabilidad del concreto, el problema de los recubrimientos (arcilla, polvo, limo, etc.....) resulta importante.

Estos recubrimientos deben suprimirse en el procesamiento del agregado. Los recubrimientos bien adheridos no pueden eliminarse así, pero, si son estables químicamente y no tienen efectos perjudiciales no debe objetarse la utilización de agregados con tales recubrimientos, aún cuando pueda incrementarse la contracción. Sin embargo los agregados con recubrimientos químicamente reactivos, aunque sean físicamente estables, pueden causar dificultades graves.

c) Partículas inestables.

Hay dos clases amplias de partículas inestables: Las que no mantienen su integridad y las que experimentan expansión destructiva, sometidas a congelación o aún en contacto con agua. Las propiedades destructivas son características de determinados grupos de rocas.

La pizarra y otras partículas de baja densidad se consideran inestables y lo mismo sucede con inclusiones blandas como los terrones de arcilla (partículas terrosas), la madera y el carbón, pues conducen a picaduras y descaramiento.

El carbón, además de constituir una inclusión blanda, es indeseable por otras razones: puede hincharse y causar fractura del concreto y si se encuentra en grandes cantidades y en forma finamente dividida puede perturbar el proceso de endurecimiento de la pasta de cemento. Sin embargo, las partículas en cantidades discretas de carbón duro que no sobrepasen un 0.25% del peso del agregado no tienen efectos negativos sobre la resistencia del concreto.

Debe evitarse la mica, porque en la presencia de agentes químicamente activos producidos en la hidratación del cemento, puede haber una alteración de las micas a otras formas. Además la mica libre en el agregado fino, incluso en cantidades muy bajas o porcentajes pequeños del peso del agregado afecta adversamente en los requisitos del agua, y en consecuencia, la resistencia del concreto.

Las pirritas de hierro, y la marcasita representan las inclusiones expansivas más comunes en el agregado.

Estos sulfuros reaccionan con el agua y el oxígeno del aire para formar un sulfato ferroso, que se descompone subsecuentemente para formar el hidróxido, mientras que los iones de los sulfatos reaccionan con los aluminatos del calcio del cemento.

Esto puede producir manchas superficiales y bultos pequeños en el concreto, sobre todo en condiciones de calor y humedad.

- CARACTERISTICAS PARTICULARES.

(SI ES AGREGADO NATURAL, TRITURADO, ARTIFICIAL, ESPECIAL)

Los agregados tienen ciertas características especiales de acuerdo a su procedencia que pueden ser:

- 1.- Los naturales: estos son de ríos que a su vez proceden de abanicos aluviales, terrazas y planicies de inundación.
- 2.- Triturados.
- 3.- Artificiales.
- 4.- Especiales.

1.- Agregados naturales.

a) Abanicos aluviales.

Se encuentran normalmente en los valles y en las bases de las montañas, en depósitos que pueden ser pendientes escarpadas, conteniendo grandes fragmentos de roca y cantos rodados en pendientes suaves.

La mayoría de los depósitos en terrenos planos, contienen materiales de grano fino. Estos materiales, comunmente tienden a ser angulosos o subredondeados debido a la corta distancia de transporte. Presentan además una pobre estratificación.

b) Depósitos en terrazas.

Se forman estos bancos comunmente en las riveras de una corriente o en zonas inundadas por ríos. Las arenas y gravas de estos depósitos están generalmente bien estratificados, redondeados y graduados. Sin embargo en estos depósitos y debido a la edad se pueden encontrar materiales altamente intemperizados.

c) Planicies de inundación.

Se presentan dentro de los valles inundados por los causes de los ríos, llegando a tener varios kilómetros de ancho. Generalmente estos materiales, presentan una granulometría fina, por lo que al utilizarse requieren un procesamiento considerable.

Dentro de los agregados naturales se encuentran otros tipos de depósitos, los cuáles se enuncian como sigue:

Depósitos lacustres .-

Generalmente consisten de arcilla y limo, algunas veces contienen materiales granulares como resultado de la sedimentación de antiguas corrientes.

Dunas .-

Pueden encontrarse en planicies semiáridas a lo largo de planicies de inundación antiguas o en playas.

También se encuentran en regiones áridas, donde no hay vegetación. La arena es generalmente fina, pero de mala graduación.

Depósitos residuales .-

Ocasionalmente arena, (rara vez agua) se puede obtener de los depósitos causados por la destrucción de las rocas aflorantes por el intemperismo. Las principales fuentes son granitos areniscas y a veces cuarcitas.

2.- Agregados triturados .-

Los agregados triturados deben provenir de rocas sanas, duras, compactas, resistentes a las heladas, etc..... Se obtienen dichos agregados por la trituración de roca, tales como : Granitos, Riolitas, Basaltos, Calizas duras, Silicea, etc

Los agregados triturados contienen más elementos finos que los agregados rodados, por lo tanto, necesitan una mayor cantidad de agua para el mezclado, sin embargo, las resistencias del concreto son mejores para una misma relación agua/cemento.

Como nota general, se puede decir que: Los agregados triturados presentan aristas más vivas y por esta razón sus concretos son:

- Más resistentes a la abrasión.
- Más resistentes a la tracción (tensión).
- Menos dóciles.
- Se obtiene mayor adherencia

3.- Agregados artificiales.

Son varios los elementos de los que se pueden formar estos agregados, como son:

- Escorias de altos hornos.
- Deshechos de tejas o de ladrillos.
- Cenizas volantes.
- Arcillas y esquistos expandidos (por efecto térmico), tales como la perlita, vermiculita, etc
- Fibras, virutas, etc

4.- Agregados especiales.

Estos se utilizan para producir concretos pesados, teniendo principalmente las siguientes aplicaciones para obtener una buena protección contra las radiaciones atómicas (rayos gamma), contrapesos de los puentes levadizos, las pesas para hundir en el agua tuberías de petróleo y como aislamiento acústico.

Los agregados pesados que más se utilizan son:

Barita
Magnesio
Limonita
Geotita
Ilmenita
Hematita
Hierro
etc

CAPITULO III

FABRICACION DEL CEMENTO.

El cemento Portland es el material que proviene de la pulverización del producto obtenido por fusión insipiente de materiales arcillosos y calizas que contienen los óxidos de calcio, silicio, aluminio y fierro, en cantidades convenientemente calculadas, mas adición posterior de yeso sin calcinar y agua, así como otros materiales que no excedan del 1% del peso total y que no sean nocivos para el comportamiento posterior del cemento.

La obtención de tal composición, requiere dos materias primas esenciales: la que suministra la base - como las calizas compuestas por carbonato de calcio - y la que proporciona los materiales ácidos - óxidos de silicio, aluminio y fierro - provenientes de granitos, andesitas, riolitas y arcillas o escorias; siendo usual el empleo de mineral de fierro para aumentar el contenido de óxido férrico en el material ácido.

Generalmente en las canteras de piedra caliza se trabaja empleando dinamita, cuya explosión desprende toneladas de trozos de piedra, algunos mayores de 60 cm.

Este material se transporta hacia potentes máquinas de trituración -que pueden ser de mandíbula o rotatorias- reduciendo el material a 15 cm. de tamaño aproximadamente.

A continuación, se transporta la piedra a otras quebradoras de cono que la convierte a un tamaño de unos 4cm de diámetro o menor. A este proceso de trituración son sometidos tanto la piedra caliza como la arcilla o barro, el mineral de fierro, el yeso y etc.....

Los materiales ya triturados se transportan usualmente por medio de bandas de hule al "Patio de Almacenamiento General de Crudos" donde se depositan. Este Patio cuenta con una grúa viajera eléctrica que transporta los materiales a los lugares que se requieren dentro del Patio, así como a las tolvas de alimentación de secadores o molinos.

En el proceso seco una vez reducidas a fragmentos, a la caliza y la arcilla se les sustrae individual y separadamente la humedad que contienen por medio de secadores, constituidos por grandes tambores dotados de un lento movimiento de rotación por los que circulan gases de calefacción en dirección opuesta a la del producto que se va a secar. Mediante el movimiento de unas palas en el interior de los tambores que levantan continuamente y dejan caer el material a través de la corriente de gases, se consigue una desecación uniforme.

Ya secos los distintos ingredientes, se conducen por medio de transportadores de tornillo sin fin a gusanillos, a sus correspondientes depósitos, de donde la grúa viajera los toma y los conduce a las tolvas de alimentación de los molinos de material crudo.

Estas tolvas reciben individualmente a los distintos componentes y los descargan en transportadores de bandas que los llevan por separado a pesadores automáticos, los cuáles regulan la proporción de cada uno de los materiales de acuerdo con su particular composición química, controlada por el Laboratorio, considerando a sí mismo la composición del tipo de cemento que se desea obtener.

Una vez dosificados los materiales -caliza, arcilla y aditivos férricos y silicosos- pasan a los molinos de material crudo.

Los molinos de crudo emplean un sistema a base de bolas de acero forjado y están compuestos por tres compartimientos con el fin de lograr la molienda en etapas sucesivas. Son impulsados por motores eléctricos y los hay de diversas capacidades.

En el primer compartimiento el material es reducido de tamaño a 4 cm. como máximo para pasar a un segundo, donde queda reducido a pequeños granos y al tercero en que se pulveriza, mediante la acción del movimiento de rotación del molino y de bolas de acero en su interior que van disminuyendo de tamaño en cada uno de los compartimientos.

Del molino de crudos se bombea el material pulverizado por medio de un dispositivo neumático al Silo de Homogenización, donde además de almacenarse el material pasa por un proceso de homogenización en tanto se le conduce a los Hornos de Calcinación. Los hornos son rotatorios y tienen la forma de grandes cilindros de acero provistos de quemadores especiales para petróleo negro o para gas. Están forrados internamente por tabiques refractarios para resistir las elevadas temperaturas - hasta 1400°C - que son necesarias para calcinar el material crudo.

Los hornos instalados en las fábricas de cemento existentes en México actualmente, miden desde 2 hasta 5.2m de diámetro y desde 25 hasta 140m de largo, con capacidades de producción que fluctúan desde 80 hasta 1750 toneladas diarias de cemento cada uno.

Los hornos tienen una inclinación de un 4% aproximadamente con respecto a la horizontal; el material crudo homogenizado entra por la parte superior donde la temperatura es de alrededor de 300°C .

Con el movimiento rotatorio de los hornos el material avanza al extremo inferior - alcanzando una temperatura de 1400°C - donde se descarga en un estado de semifusión o pastoso que motiva la formación de aglomerados, aproximadamente esféricos de unos 5 cm de diámetro, designados con el nombre de CLINKER.

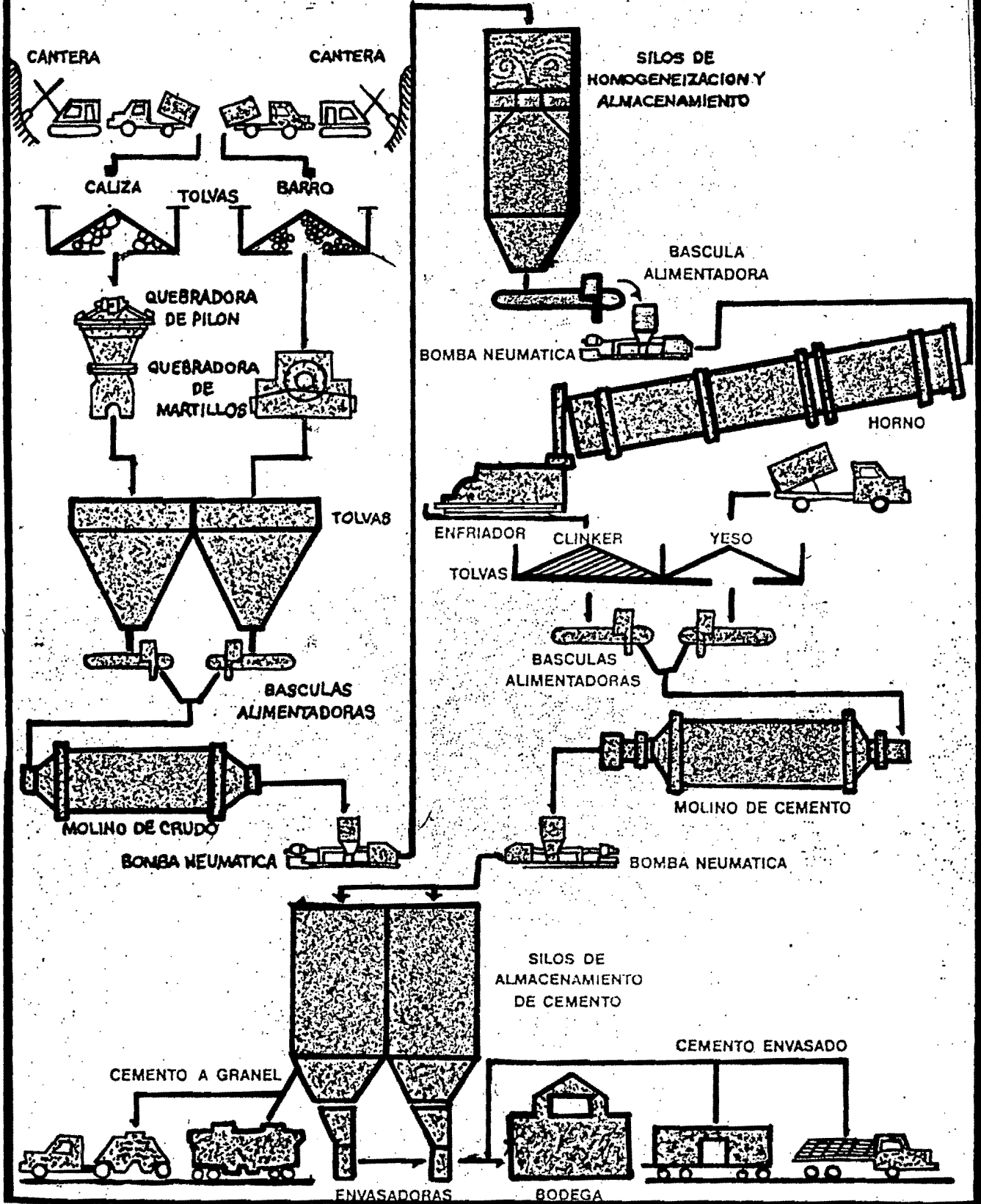
El clinker sale del horno al rojo blanco y pasa a un enfriador de aire por el cual se sustrae el aire caliente del material y se induce aire fresco para reducir la temperatura del clinker a poco menos de 100°C . El aire caliente se aprovecha como aire auxiliar en el horno de calcinación. A continuación el clinker se conduce en transportadores de cadena al patio de almacenamiento.

Del Patio de Almacenamiento, la grúa viajera toma el clinker y el yeso para conducirlos a la tolva o silo de alimentación del molino de cemento. Este es similar al descrito para el material crudo. Este molino convierte el clinker y el yeso, previamente dosificados, a polvo impalpable que es el cemento Portland. La correcta adición del yeso controla el fraguado de cemento, eleva su resistencia y reduce su contracción por secado, mejorando el comportamiento del cemento e impidiendo la prematura formación de compuestos que dificultan la completa hidratación y endurecimiento.

Mediante un dispositivo neumático, el cemento es depositado a continuación en los silos de almacenamiento. De éstos se bombea, por medio de otro dispositivo, a las máquinas envasadoras que automáticamente llenan los sacos de papel hasta un contenido neto de 50 kilogramos; o hacia los depósitos del cemento a granel. (Figura B.)

DIAGRAMA DEL PROCESO DE ELABORACION DE CEMENTO

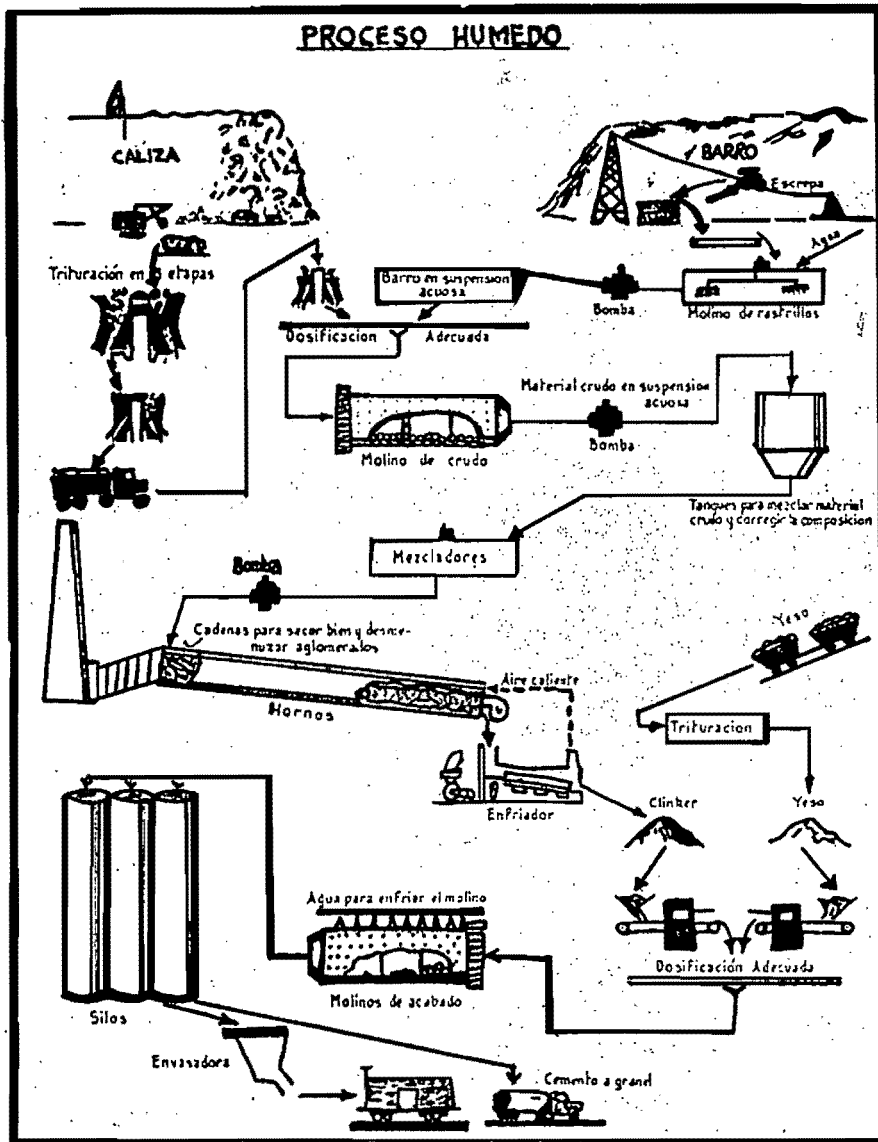
SISTEMA SECO



Una vez envasado el cemento, se distribuye a los consumidores por medio de ferrocarril o camiones y en transportes especiales para cemento en grandes cantidades.

A diferencia del proceso seco antes descrito, en el proceso húmedo, la arcilla se desmenuza en tanques provistos de rastrillos giratorios, en que el lodo arcilloso se revuelve con el polvo de piedra caliza hasta producir una lechada que posteriormente se somete a la molienda en molinos horizontales tubulares. Aún cuando el agua facilita el manejo y la revoltura de los materiales, origina un mayor gasto de combustible al evaporarse en el horno. (Figura C.)

FIGURA " C "



Del total de empresas productoras de cemento, el 93% emplea sistema seco y sólo 7% el sistema húmedo. El 10% restante emplean ambos sistemas o un sistema semihúmedo. (Tabla I.)

TABLA I.-

<i>INSTALACIONES</i>		
<i>EMPRESA</i>	<i>SISTEMA</i>	<i>Nº DE HORNOS</i>
Cementos Portland Blanco de México, S.A.	Seco	2
Cementos Anáhuac, S.A. Planta Barrientos	Seco	6
Cementos Anáhuac, S.A. Planta Tamuín	Seco	2
Cementos Apasco, S.A. de C.V. Apasco	Seco	2
Cementos Apasco, S.A. de C.V. Macuspana	Seco	1
Cementos Veracruz, S.A. Orizaba	Seco	3
Cementos Acapulco, S.A. Acapulco	Seco	1
Cementos Chihuahua Chihuahua	Seco	4

Cementos Chihuahua		
Planta Cd. Juárez	Seco	1
Cementos Mexicanos, S.A.		
Planta Huichapan	Seco	1
Cementos Mexicanos, S.A.		
Planta Monterrey	Seco	7
Cementos Mexicanos, S.A.		
Planta Torreón	Seco	4
Cementos Mexicanos, S.A.		
Planta Valles	Seco	2
Cementos del Norte, S.A.	—	—
Monterrey		
Cementos Maya, S.A.		
Planta Mérida	Seco	2
Cementos Maya, S.A.		
Planta León	Húmedo	2
Cementos Guadalajara, S.A.		
Planta Guadalajara	Seco	3
Cementos Guadalajara, S.A.		
Planta Ensenada	Seco	3
Cementos Portland Moctezuma		
Morelos	Húmedo	3

Cementos Tolteca, S.A.		
Planta Atotonilco	Seco	4
Cementos Tolteca, S.A.		
Planta Mixcoac.CERRADA.	Leopol Semi-Húmedo	1
Cementos Tolteca, S.A.	Húmedo	4
Planta Tolteca	Seco	1
Cementos Tolteca, S.A.		
Planta Zapotiltic	Seco	2
Cementos Atoyac, S.A.		
Puebla	Seco	1
Cementos del Pacífico, S.A.		
Mazatlán	Seco	3
Cementos Portland, Nal.S.A.		
Hermosillo	Seco	1
Cementos Sinaloa, S.A.		
El Fuerte, Sin.	Seco	2
Coop. Manuf. "La cruz azul"		
Planta Jasso	Seco	8
Coop. Manuf. "La cruz azul"		
Planta Lagunas	Seco	4
Sociedad Coop. Cementos Hgo.		
Hidalgo, N.L.	Seco	3

FUENTE : CAMARA NACIONAL DEL CEMENTO.

COMPOSICION QUIMICA

Las características y propiedades del Cemento Portland están íntimamente ligadas a su composición química y a su constitución potencial.

La composición química se determina por análisis y se expresa en forma de óxidos. Una composición media de un Cemento Portland puede ser la siguiente:

1) Cal combinada.....	CaO	62.5%
2) Sílice.....	SiO ₂	21.0%
3) Alúmina.....	Al ₂ O ₃	6.5%
4) Hierro.....	Fe ₂ O ₃	2.5%
5) Azufre.....	SO ₃	2.0%
6) Cal libre.....	CaO	0.0%
7) Magnesita.....	MgO	2.0%
8) Pérdida al fuego.....	P.F.	2.0%
9) Residuo insoluble.....	R.I.	1.0%
10) Alcalis.....	Na ₂ O+K ₂ O	0.5%

Los cuatro primeros componentes son los principales del cemento, de carácter básico la cal y de carácter ácido los otros tres. No se encuentran libres en el cemento, sino combinados formando Silicatos, Aluminatos y Ferritos calcicos. Los principales constituyentes del Cemento Portland son:

- El silicato tricálcico (C₃S),
- El silicato bicálcico (C₂S),
- El aluminato tricálcico (C₃A) y
- El ferrito aluminato tetracálcico (C₄AF)

A los que hay que añadir los componentes secundarios anteriormente mencionados (el yeso, los álcalis, la cal libre y la magnesia libre).

En la hidratación de los silicatos citados, se produce cal libre a cuyo elevado PH se debe la gran alcalinidad del medio (PH > 12), lo que asegura la protección química de las armaduras en el concreto armado. Sin embargo el hidróxido cálcico constituye un punto débil para el material en ambientes agresivos, ya que la presencia de la cal unida a la eventual presencia de sulfatos aportados por el medio agresivo, produce el sulfo-alunato tricálcico hidratado (sal de Candolot) en un proceso fuertemente expansivo que arruina a los concretos.

Sin embargo, es un hecho probado que los cementos de alta saturación en cal (alto contenido en silicato tricálcico) poseen mayores resistencias mecánicas.

En conclusión debe buscarse para cada caso particular una solución que satisfaga al máximo (en lo posible) ambas resistencias mecánicas y químicas (debido a que algunos componentes ayudan a las características químicas y otros a las mecánicas, por lo cual es conveniente balancear sus propiedades.

De los restantes componentes, puede decirse que son los indeseables del cemento, a continuación se comentan brevemente c/u de ellos.

- Trióxido de Azufre, SO_3 .

El azufre proviene de la adición de piedra de yeso, que se hace al clinker durante la molienda para regular su fraguado, pudiendo también provenir del combustible empleado en el horno.

Un exceso de SO_3 puede conducir al fenómeno de falso fraguado, por lo que conviene ser estricto en la comprobación de que no se rebasa la limitación impuesta por las especificaciones y normas correspondientes. Un contenido en SO_3 inferior al 3% siempre es aceptable.

- Oxido Cálcico libre, CaO.

La cal libre y el hidróxido cálcico, coexisten normalmente en la pasta de cemento. Una parte de la primera se hidrata y pasa a la segunda durante el amasado, pero si el contenido en CaO libre del cemento es superior al 1.5 ó 2.0%, queda otra parte capaz de hidratarse en el transcurso del endurecimiento, es decir, a edades medias o largas, lo que puede producir fenómenos expansivos. Por ello no deben admitirse contenidos superiores al 2% de cal libre en un cemento.

- Oxido Magnésico, MgO.

La magnesia MgO puede presentarse en el clinker en estado vítreo (por enfriado energético) o en estado cristalizado (periclasa), siendo esta última forma realmente peligrosa, debido a su lenta hidratación para pasar a hidróxido magnésico Mg(OH)₂ en un proceso de carácter expansivo. Por ello se limita el contenido de magnesio en un 5% máximo.

- Pérdida al fuego.

Cuando su valor es apreciable, la pérdida al fuego proviene de la presencia de adiciones de naturaleza caliza o similar lo cuál no suele ser conveniente si el cemento ha experimentado un prolongado almacenamiento, la pérdida al fuego puede provenir del vapor de agua o de CO₂ presentes en el conglomerante, siendo entonces expresiva de una meteorización del cemento.

- Residuo insoluble.

Proviene de la presencia de adiciones de naturaleza silíceas, no debe superar el 3%.

- Alcalis totales.

Proviene en general de las materias primas y se volatilizan en buena parte, encontrándose luego en el polvo de los humos de las fábricas de cementos y no suele superar al 0.8%.

CLASIFICACION (CEMENTO PORTLAND).

La ASTM considera cinco tipos de cemento, la clasificación se basa en ciertas características físicas y químicas.

Tipo I (Normal).

Este es un cemento de aplicación general adecuado para todos los usos donde las propiedades específicas de cada tipo no se necesitan. Entre sus diversas aplicaciones se incluyen pavimentos y andadores, edificios de concreto reforzado, puentes, estructuras para vías férreas, tanques y depósitos, alcantarillas, tuberías para agua, piezas de mampostería y muchas más.

TIPO II (de calor moderado).

Este cemento se utiliza donde la precaución contra el ataque moderado de los sulfatos es importante, como en estructuras de drenaje en las que las concentraciones de sulfatos de las aguas subterráneas es mayor de lo normal, pero no demasiado elevada. El cemento tipo II por lo regular genera menos calor a menor velocidad que el cemento tipo I.

El tipo II se puede usar en estructuras de volúmen considerable, como grandes estribos, contrafuertes pesados y muros de contención. Su uso minimiza la elevación de la temperatura, lo cual es muy importante cuando el concreto se cura en regiones tropicales.

El cemento tipo II, si se restringe en su composición mineralógica en lo que respecta a los álcalis, permitiendo como máximo 0.6% de álcalis totales.

Este cemento se puede utilizar como el cemento tipo V, en concretos que estén expuestos a la acción severa de sulfatos.

Tipo III (fraguado rápido y alta resistencia temprana).

Este cemento proporciona alta resistencia a edad temprana (una semana o menos). Se utiliza cuando las cimbras se deben retirar lo más pronto posible, o cuando la estructura se debe poner en servicio rápidamente. En clima frío, su uso permite una reducción del período de curado controlado.

Tipo IV (de bajo calor de hidratación)

El tipo IV es un cemento que se emplea cuando la velocidad y cantidad de calor generado deben reducirse al mínimo.

El cemento tipo IV desarrolla resistencia a menor velocidad que el cemento tipo I o normal. Se destina a estructuras de concreto masivo, como las grandes presas de gravedad, donde el ascenso de la temperatura que resulta del calor generado durante el endurecimiento es un factor crítico.

CEMENTOS PORTLAND INCLUSORES DE AIRE.

Se especifican tres tipos de cementos portland inclusores de aire: IA, IIA y IIIA, que corresponden en su composición a los tipos I, II y III; sin embargo, contienen pequeñas cantidades de aditivos inclusores de aire molidos con el clinker durante la fabricación.

CEMENTO PORTLAND BLANCO

El cemento portland blanco es un verdadero cemento portland y la única diferencia es que es blanco en lugar de gris, que es el color normal.

El cemento portland blanco se elabora con materias primas seleccionadas, que contienen cantidades insignificantes de óxidos de hierro y manganeso; se utilizan principalmente en aplicaciones arquitectónicas.

CEMENTOS COMPUESTOS

En algunas regiones se fabrican estos tipos de cementos los cuales pueden aprovecharse para la construcción en general, sus características son muy semejantes a los tipos I y II. Sin embargo no existe información específica acerca de su velocidad de desarrollo de resistencia y de otras consideraciones prácticas, por lo cual resulta prudente obtener información necesaria antes de hacer uso de ellos.

CEMENTOS PORTLAND - PUZOLANA

Generalmente estos cementos se elaboran mediante la mezcla de una pequeña cantidad de ceniza volante con cemento portland.

CEMENTOS PORTLAND DE ALTO HORNO

Esta es una mezcla de cemento de escoria, elaborada al moler rápidamente, escoria de alto horno, fría con cemento portland. La escoria vítrea de alto horno, enfriada a gran velocidad y finamente molida es reactiva con el concreto.

CEMENTOS ESPECIALES

Existen en el mercado cementos especiales, los cuales se producen por lo general en cantidades limitadas, en determinadas regiones y para usos específicos, los cuales pueden ser por especificaciones gubernamentales o industriales.

A continuación se da una lista de los más comunes dentro de esta clasificación.

- a) Cementos de albañilería
- b) Cementos aluminosos
- c) Cementos para pozos de petróleo
- d) Cementos portland e impermeables
- e) Cementos plásticos
- f) Cementos expansivos

En la tabla II se observan las marcas y tipos de cementos más comunes, producidos en México.

TABLA II.-

<i>EMPRESA</i>	<i>MARCAS</i>	<i>TIPOS</i>
Cementos Portland Blanco de México, S.A.	Cisne, Polar para Vito.	Blanco Tipo I
Cementos Anáhuac, S.A. Planta Barrientos	Anáhuac	Tipo I, III, Mortero C-2
Cementos Anáhuac, S.A. Planta Tamuín	Anáhuac	Tipo I, II, III C-2 Tipo I Esp
Cementos Apasco, S.A. de C.V. Apasco	Apasco	Tipo I, II, III Básico clase H
Cementos Apasco, S.A. de C.V. Macuspana	Apasco	Tipo I, II, III Básico clase H

Cementos Veracruz, S.A. Orizaba	Pico de Orizaba	Tipo I, III, Pe- trolero Clase G
Cementos Acapulco, S.A. Acapulco	Acapulco	Tipo I, III y morteros espe- ciales.
Cementos Chihuahua Chihuahua	Chihuahua	Tipo II Puzolá- nico tipo IP
Cementos Chihuahua Planta Cd. Juárez	Chihuahua	Tipo II Puzolá- nico, Tipo IP
Cementos Mexicanos, S.A. Planta Huichapan	Cemento Monterrey	Tipo I Puzo - lánico.
Cementos Mexicanos, S.A. Planta Monterrey	Monterrey e Hgo.	Tipo I, C-2, Blanco.
Cementos Mexicanos, S.A. Planta Torreón	Monterrey	Tipo II, C-2
Cementos Mexicanos, S.A. Planta Valles	Monterrey	Tipo I
Cementos del Norte, S.A. Monterrey	Atlante, Super Atlante, Falcón y Siderúrgico.	C-2
Cementos Maya, S.A. Planta Mérida	Maya	Tipo I
Cementos Maya, S.A. Planta León	León	C-2

Cementos Guadalajara, S.A. Planta Guadalajara	Guadalajara y Rayo.	Puzolánico
Cementos Guadalajara, S.A. Planta Ensenada	Guadalajara y Gallo.	Puzolánico y tipo II
Cementos Portland Moctezuma Morelos	Moctezuma	Tipo I,III,IP Puzolánico C-2
Cementos Tolteca, S.A. Planta Atotonilco	Tolteca	Tipo I,III, Puzolánico C-2.
Cementos Tolteca, S.A. Planta Mixcoac. CERRADA.	Tolteca	Blanco,mortero Claro,C-2
Cemento Tolteca, S.A. Planta Tolteca	Tolteca	Tipo I,Blanco C-2,Mortero
Cementos Tolteca, S.A. Planta Zapotáltic	Tolteca	Tipo I,II,C-2
Cementos Atoyac, S.A. Puebla	Atoyac	Tipo I,C-2
Cementos del Pacífico,, S.A. Mazatlán	Victoria	C-2
Cementos Portland, Nal. S.A. Hermosillo	Campana	Tipo II,C-2
Cementos Sinaloa, S.A. El Fuerte, Sin.	Centenario	C-2,Mortero Claro.

Coop. Manuf. "La Cruz Azul" Planta Jasso	Cruz Azul	Tipo II, III, C-2, Mortero
Coop. Manuf. " La Cruz Azul" Planta Lagunas	Cruz Azul	Tipo II, III, II con Puz., Blanco
Sociedad Coop. Cementos Hgo. Hidalgo, N.L.	Cuauhtémoc	Tipo I

FUENTE: CAMARA NACIONAL DEL CEMENTO.

La figura, D nos muestra la distribución geográfica de plantas productoras de cemento; que a su vez se correlacionan los numeros con la tabla III.

TABLA III .-

- 1.- Portland de México, Vito, Hgo.
- 2.- Anáhuac, Tlanepantla, Edo Méx.
- 3.- Apasco, Apasco, Edo Méx.
- 4.- Atoyac, Puebla, Pue.
- 5.- Portland Moctezuma, Cuernavaca, Mor.
- 6.- Tolteca, Atotonilco, Hgo.
- 7.- Tolteca, Mixcoac, D.F.
- 8.- Tolteca, Tolteca, Hgo.
- 9.- Cruz Azul, Jasso, Hgo.
- 10.- Mexicanos, Huichapan, Hgo.
- 11.- Guadalajara, Tlaquepaque, Jal.
- 12.- Maya, León, Gto.
- 13.- Tolteca, Zapotiltic, Jal.

- 14.- Chihuahua, Chihuahua, Chih.
- 15.- Chihuahua, Cd. Juárez, Chih.
- 16.- Mexicanos, Monterrey, N.L.
- 17.- Mexicanos, Torreón, Coah.
- 18.- Del Norte, Monterrey, N.L.
- 19.- Hidalgo, Hidalgo, N.L.
- 20.- Portland Nal., Hermosillo, Son.
- 21.- Guadalajara, Ensenada, B.C.
- 22.- Pacífico, Mazatlán, Sin.
- 23.- Sinaloa, El fuerte, Sin.
- 24.- Anáhuac, Tamuín, S.L.P.
- 25.- Mexicanos, Cd.Valles, S.L.P.
- 26.- Apasco, Macuspana, Tab.
- 27.- Veracruz, Orizaba, Ver.
- 28.- Acapulco, Acapulco, Gro.
- 29.- Cruz Azul, Lagunas, Oax.
- 30.- Maya, Mérida, Yuc.

FIGURA " D "

DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE PLANTAS
PRODUCTORAS DE CEMENTO
EN LA REPUBLICA MEXICANA.



CARACTERISTICAS FISICAS Y MECANICAS.

Las características físicas y mecánicas más importantes son: finura de molido, peso específico, fraguado, expansión y resistencias mecánicas. A continuación se explicarán brevemente cada una de ellas.

FINURA DEL MOLÍDO

Es una característica íntimamente ligada al valor hidráulico del cemento, ya que influye decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar durante su fraguado y primer endurecimiento.

Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento se hidratan sólo en una profundidad de 0.01mm, por lo que, si dichos granos fuesen gruesos, su rendimiento sería muy pequeño al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte.

Si el cemento posee una finura excesiva, su retracción y calor de fraguado son muy altos (lo que en general resulta perjudicial); ya que la mezcla resulta ser más susceptible a la meteorización (envejecimiento) tras un almacenamiento prolongado, y disminuye su resistencia a las aguas agresivas. Sin embargo las resistencias mecánicas aumentan con la finura, por lo cual es conveniente que el cemento portland este finamente molido pero no en exceso.

Para medir la finura de un cemento se utilizan dos métodos: tamizado y superficie específica, las cuales no son equivalentes. El primer método consiste en medir los residuos del cemento en dos tamices tipo de 900 y 4900 mallas por centímetro cuadrado.

En el segundo se determina su superficie específica por algún procedimiento, siendo el método blaine, en el se determina y expresa en centímetros cuadrados la superficie de un gramo de material cuyas partículas estuviesen totalmente sueltas.

Lo más conveniente es que un cemento alcance sus debidas resistencias, a las distintas edades debido a la calidad del clinker y no por la finura de molido.

PESO ESPECIFICO.

El peso específico real varía muy poco de unos cementos a otros (oscila entre 3 y 3.15g/cm³). La limitación establecida por las normas igual o superior a 3 se cumple prácticamente siempre.

FRAGUADO

La velocidad de fraguado de un cemento viene limitada por las normas estableciendo un período de tiempo, a partir del amasado dentro del cual deben de producirse el principio y el fin del fraguado.

Ambos conceptos se definen de un modo convencional, mediante la aguja de VICAT, ya que el fraguado es un proceso continuo que se inicia al amasar el cemento y se prolonga por el endurecimiento.

Las penetraciones de la aguja de Vicat sobre una probeta de pasta normal de cemento, en función del tiempo, dan una idea del proceso de fraguado.

El límite inferior que marcan las normas para el comienzo del fraguado, es pequeño y puede resultar insuficiente para muchas obras de concreto, en que las distancias de transportes son grandes.

Debe comprobarse, en tales casos, que el principio de fraguado del cemento se aleja del mínimo admitido especialmente si la temperatura ambiente supera a la normalizada del ensayo, que es de 19 a 23°C para el agua de amasado.

El fraguado es tanto más corto y rápido en su comienzo cuanto más elevada es la finura del cemento.

La meteorización de éste (almacenamiento prolongado) aumenta la duración del fraguado, la presencia de materia orgánica (que puede provenir del agua o de la arena) retrasa el fraguado y puede llegar a inhibirlo. A menor cantidad de agua de amasado, así como a mayor sequedad de aire ambiente, corresponde a un fraguado más corto.

Al determinar los tiempos de fraguado de un cemento conviene pedir al laboratorio información acerca de si el cemento presenta tendencia a experimentar el fenómeno de falso fraguado, por los peligros que ello supone en el amasado del concreto.

EXPANSION EN AUTO-CLAVE.

El ensayo de auto-clave es un ensayo acelerado ya que al combinar presión con temperatura pone de manifiesto a corto plazo, la característica más o menos expansiva que tendrá un cemento a largo plazo debido a la existencia de magnesia o de cal libre en exceso.

Si el cemento presenta una expansión en auto-clave inferior al 0.8% (límite fijado por las normas ASTM) puede asegurarse que no será expansivo en obra. En caso contrario podrá presentar expansiones o no, según condiciones y circunstancias prácticamente imponderables.

RESISTENCIAS MECANICAS

Como resistencia de un cemento se entiende la de un mortero normalizado, amasado con arena de sílice de granulometría determinada y con relación agua/cemento igual a 0.5% en las condiciones que especifica la forma vigente, en este caso la ASTM.

La resistencia a la compresión del cemento portland, se obtiene mediante la prueba de cubos estándar de un mortero de 5cm. Las resistencias a diferentes edades indican las características potenciales productoras de resistencias del cemento.

La resistencia de un concreto será tanto mayor según sea la del cemento empleado, pero ésta característica no es la única que debe buscarse, pues en ocasiones resulta de signo opuesto a otras igualmente necesarias, como por ejemplo las de durabilidad.

CAPITULO IV

GENERALIDADES

En una mezcla de concreto el agua es la parte que provoca la reacción química de los componentes.

Primeramente juega un doble papel en el amasado del concreto, ya que por un lado participa en las reacciones de hidratación del cemento y por otro le da la trabajabilidad necesaria al mismo (lo cual facilita su puesta en obra), sin embargo la cantidad de agua de mezclado debe limitarse al mínimo estrictamente necesario (ya que el agua en exceso se evapora y crea una serie de huecos -capilares- en el concreto, que disminuye su resistencia).

Para compensar las pérdidas de agua por evaporación y permitir que se desarrollen nuevos procesos de hidratación con aumento de resistencias, el concreto debe curarse (con abundancia de agua).

Tanto el agua de mezclado como la de curado deben ser adecuadas para desempeñar eficazmente su función.

En principio, el concreto puede mezclarse con cualquier clase de agua, exceptuando las aguas minerales, porque el concreto es poco susceptible de contaminarse a causa del agua de mezclado; sin embargo es potencialmente más contaminante y peligrosa el agua que recibe el concreto cuando está endurecido o ya está duro (agua de curado o del medio), porque las reacciones que pueden originarse ya no actúan sobre una masa de estado plástico.

Además la aportación de sustancias perjudiciales en el agua de mezclado es limitada en cantidad y se produce de una sola vez, sin renovación; a diferencia de las otras aportaciones mucho más amplias y de actuación más duraderas.

Por la cual se deduce que se debe ser más estricto en la aptitud de una agua para curado que para la de mezclado.

AGUA PERJUDICIAL Y NO PERJUDICIAL

Un índice útil de carácter general sobre la aptitud de un agua es su potabilidad. Esta excepción se reduce casi exclusivamente a las aguas de alta montaña, cuya gran pureza les confiere carácter agresivo, en cambio, otras aguas manifiestamente insolubles (que pueden ser: aguas bombeadas de minas que no sean de carbón, algunas de residuos industriales, aguas pantanosas, etc.) pueden ser utilizadas sin problemas. Las aguas depuradas con cloro pueden emplearse perfectamente.

Cuando el agua contiene materias sólidas en suspensión (limos o arcillas) debe proscribirse su empleo, ya que éstos finos disminuyen notablemente la adherencia pasta-agregado, el máximo de sólido permisible es de 2000 ppm.

Un criterio práctico utilizado en Estados Unidos como resultado de una amplia experimentación (cerca de 6000 ensayos sobre más de 60 aguas diferentes) es el siguiente: Se puede utilizar en principio aguas no aptas para mezclar concretos, si la pérdida de resistencia que produce en el concreto (apreciado mediante ensayos comparativos con un agua potable de buena calidad) no supera el 15 % .

El único riesgo que se corre aplicando el criterio anterior es que pueden existir en el agua sustancias nocivas (especialmente cloruros) cuyos efectos se manifiestan a largo plazo.

Es deseable que el período de observación de los concretos de prueba no se reduzca a un mes sino que se extienda el máximo posible.

De cualquier forma y desde un punto de vista práctico, el ensayo comparativo de resistencias a 28 días puede utilizarse como justificación de que un agua de mezclado no altera perjudicialmente las propiedades exigibles al concreto, y ello aún cuando dicha agua no cumple alguna limitación de las contenidas en las normas, especialmente si no se trata del contenido en ión cloro.

En resumen, si es necesario el utilizar un agua sospechosa, convendrá forzar la dosis de cemento en el concreto (no menos de 350 Kg/m³) con objeto de que si una parte del mismo resulta dañada por parte del agua, la parte restante continúe siendo eficaz en el desarrollo de las resistencias.

AGUA DE MAR

El contenido medio de cloruro sódico del agua de mar es del orden de 25 gramos por litro (es decir unos 15 gramos por litro de ión cloro), lo que la coloca dentro del límite admisible para el concreto en masa y abiertamente afuera para concreto armado, las restantes sales están constituidas fundamentalmente por sulfatos de magnesio, calcio y potasio con contenidos del orden del 1.50, 1.25 y 1.00 gr por litros respectivamente, lo que da un total de ion SO₄ próximos a los 3gr por litro. Estos contenidos bastarían para calificar al agua como perjudicial, pero por una serie de razones de índole química, su agresividad real es mucho menor de lo que tendría un agua no marina con sulfatos o cloruros en análogas proporciones.

Por lo anterior no se pueden dar reglas generales acerca del agua de mar utilizada en el mezclado de concreto, ya que en muchos casos se han empleado con éxito para estructuras de concreto armado a pesar de su alto contenido de sulfatos. La instrucción española del concreto admite su empleo para concreto en masa, y previene acerca de la posible aparición de manchas (eflorescencias producidas por la cristalización de sales), y de la probable caída de resistencia se puede cifrar en un 15% aproximadamente.

La presencia de algas en el agua no debe admitirse, ya que impide la adherencia agregado-pasta, provocando posteriormente multitud de poros en el concreto.

El mezclado con agua de mar suele ser especialmente perjudicial cuando el concreto va a estar en contacto con agua de mar. Por ello se recomienda en la práctica como norma mezclar siempre con agua dulce los concretos destinados a obras marítimas, en particular los cementos aluminosos que resisten bien el agua de mar, no deben ser mezclados jamás con agua de mar ya que provoca un fraguado relámpago.

ANALISIS DEL AGUA.

En general, las normas obligan a analizar las aguas solamente cuando no se posean antecedentes de su utilización o en caso de duda. Las limitaciones incluidas en las normas suelen ser prudentes y conservadoras, por lo cual no es raro encontrar en la literatura especializada valores límite más tolerantes.

En la siguiente tabla se ofrecen las limitaciones de los elementos perjudiciales del agua, con un breve comentario a cada una de las limitaciones.

DETERMINACION	LIMITACION	RIESGOS QUE SE CORREN SI NO SE CUMPLE LA LIMITACION	OBSERVACIONES
PH	Mínimo 5	Alteraciones en el fraguado y endure- cimiento. Disminución de re- sistencias y dura- bilidad.	Otras normas admiten hasta un PH a 4. Con cemento aluminoso no deben usarse aguas de PH superior a 8.
Sustancias disueltas totales.	Máximo 15 gramos por litro	Aparición de eflo- recencias a otro tipo de manchas. Pérdidas de resis- tencias mecánicas. Fenómenos expansi- vos a largo plazo.	Por substan- cias disuel- tas, se en- tiende el re- siduo salino seco que se obtiene por evaporación del agua. En zonas su- jetas a fluc- tuaciones de nivel del a- gua conviene rebajar el límite a 5gr por litro.
Contenido en sul- fatos expresados en ión SO ₄ .	Máximo un gramo litro.	Alteraciones en porel fraguado endurecimiento, pérdidas de re- sistencia. Puede resultar gravemente a- fectada la du- rabilidad del concreto.	Atención al ycontenido en sulfatos del cemento y los agregados cuando se es- tá cerca del límite. Se debe ser más estricto con el aguade curado.

Contenido con ión cloro.	Máximo 6 gramos por litro	Corrosión de ar- maduras u otros elementos metá- licos. Otras alteracio- nes del concreto.	Para concreto masivo puede elevatorse el límite de 3 a 4 veces. Para concreto pretensado debe rebajar- se el límite a 0.5 gr/lt.
Hidratos de carbono.	No deben apreciar- se.	El concreto no fragua otras al- teraciones en el fraguado y endu- recimiento.	La sacarosa, glucosa o sustancias análogas al- teran pro- fundamente el mecanismo de fraguado de los cementos.
Substancias orgánicas so- lubles en eter.	Máximo 15 gramos por litro.	Graves alteracio- nes en el fra- guado y/o en- durecimiento. Fuertes caídas de resistencia.	El ensayo por ne de mani- fiesto la pre- sencia de ar- ceites y gras- sas de cual- quier origen, humus y otras sustancias or- gánicas vege- tales, que muestran una interacción con la cal liberada del cemento. Atención a la materia or- gánica de la arena, cuando se está cerca del límite.

CAPITULO V ADITIVOS

Un aditivo es una mezcla de productos químicos presentada comunmente en forma de solución, que se añade a una porción de concreto durante la mezcla, con el propósito de modificar, de alguna manera las propiedades del material fresco o endurecido. Obviamente, la palabra aditivo no incluyen el agua, el cemento y los agregados, ya que éstos son componentes esenciales del concreto.

Cuando la mezcla está diseñada apropiadamente, la mayoría de los concretos no requieren aditivos; éstos no son sustitutos de la elaboración de buen concreto, y es difícil que mejoren un concreto pobre, sin embargo, pueden presentarse ocasiones en las cuales es muy conveniente utilizar un aditivo con el fin de alcanzar un resultado determinado.

En el concreto fresco los aditivos pueden producir las siguientes modificaciones:

- Aumentar la trabajabilidad sin incrementar la relación agua/cemento.
- Mejorar la cohesión.
- Reducir la segregación.
- Reducir el sangrado.
- Retardar el proceso de fraguado.
- Acelerar el proceso de fraguado.

Y en el concreto endurecido las modificaciones que se pueden presentar son :

- Aumentar la resistencia a las heladas.
- Aumentar la velocidad de desarrollo de resistencia a edad temprana.
- Aumentar la resistencia.
- Reducir la permeabilidad.

En este capítulo se tratarán los siguientes aditivos (los de mayor uso en los concretos):

- Acelerante.
- Retardantes
- Reductores de agua, normales.
- Reductores de agua, acelerantes.
- Reductores de agua, retardantes.
- Inclúsores de aire.
- Superfluidificantes.

NOTA: Es conveniente recordar que estos tipos de aditivos deben ser suministrados por casas especializadas de las especificaciones y normas, y es conveniente que el productor del concreto siga cuidadosamente todas las indicaciones del fabricante en el uso de los aditivos.

Sin embargo independientemente del aditivo que se utilice conviene tener presente algunas recomendaciones generales:

- 1.- Cerciorarse de que las especificaciones de la obra permiten su uso, algunas prohíben utilizar aditivos.
- 2.- Verificar que se está usando el aditivo apropiado y nunca hay que utilizar uno de envase no marcado; leer la etiqueta del envase para saber si requiere condiciones especiales de almacenamiento (en caso necesario proporcionarlas), almacenar los envases de manera que las etiquetas no se deterioren y mantenerlas bien cerradas cuando no estén en uso, para evitar contaminaciones accidentales.
- 3.- Revisar que se conoce y emplea la dosis correcta para cada lote; dominar la tentación de añadir "un poquito más", esa pequeña cantidad puede hacer más daño que bien.

4.- Los aditivos líquidos se deben agregar con un surtidor que mide exactamente la cantidad requerida, generalmente éste puede conseguirse con el proveedor del aditivo, quien también puede aconsejarle respecto a su uso.

5.- Diariamente antes de empezar a mezclar el concreto, verificar que el surtidor esté proporcionando la dosis correcta y al terminar las labores del día, lavarlos perfectamente.

6.- Ya que es difícil garantizar que el aditivo se distribuya uniformemente en todo el concreto, los aditivos líquidos deben agregarse en el agua de la mezcla, antes de vaciarla en la revolvedora. Cuando esto no sea posible, como cuando se suministran a mano con un recipiente, mezclar el concreto por un poco más de tiempo.

7.- Revisar muy bien las entregas de agregado por las posibles variaciones de granulometría y humedad ya que éstos cambios pueden alterar el efecto del aditivo, y puede ser necesario efectuar algunos ajustes en el contenido de agua de la mezcla.

8.- Los aditivos acelerantes que contienen cloruro de calcio no deben utilizarse en concreto presforzado o reforzado.

Al usar algún aditivo es probable que se requiera hacer algunas modificaciones a la mezcla, por lo cual deben realizarse pruebas preliminares para verificar que puede lograrse la modificación requerida de la propiedad del concreto. Por ejemplo, cuando se emplea una mezcla con aire incluido, la lubricación adicional proporcionada por pequeñas burbujas de aire, permite reducir el contenido de agua y al mismo tiempo, contribuye a reducir el contenido de arena en un 4% aproximadamente. Los ajustes correctos solamente pueden determinarse mediante mezclas de pruebas.

Aunque las instrucciones del fabricante del aditivo generalmente incluyen recomendaciones sobre la dosificación, la dosis ideal depende muchas veces de los materiales particulares que se usen en el concreto y de la temperatura, por lo tanto, las mezclas de prueba son importantes; en obras de gran magnitud, son imperativas.

El programa de mezclas de prueba debe comprender algunas con sobredosis dobles o triples, agregadas con el fin de observar su efecto sobre el concreto fresco y sobre el concreto endurecido, y de que todos los participantes puedan así darse cuenta de los daños que surgen de los errores.

A continuación se mencionarán brevemente cada uno de los aditivos mencionados anteriormente.

ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA NORMALES. (FLUIDIFICANTES AUXILIARES DE TRABAJABILIDAD)

Los aditivos reductores de agua incrementan la fluidez de la pasta de cemento y en una mezcla determinada, pueden incrementar la trabajabilidad sin aumentar la relación agua/cemento, o pueden mantener la misma trabajabilidad reduciendo la relación agua/cemento.

Todos los aditivos de éste tipo se presentan en forma líquida, y la mayoría consisten en lignosulfonatos (productos derivados del procedimiento de pulpa de madera), otros son soluciones de sales de ácido carboxílico hidroxilatado (productos químicos manufacturados). Actúan principalmente mejorando la dispersión de las partículas de cemento lo que a su vez incrementará la lubricación de la pasta de cementos; también pueden dar como resultado una ligera inclusión de aire (alrededor del 1%).

Los aditivos reductores de agua pueden ser benéficos de las siguientes maneras:

1.- Pueden aumentar cohesión y disminuir segregación, en mezclas de gran trabajabilidad, reduciendo el contenido de agua, pero conservando esa misma trabajabilidad como en las mezclas gruesas que contienen agregados angulares, poca arena o mezclas deficientes de finos.

2.- Pueden reducir el sangrado, disminuyendo el contenido de agua y conservando la misma trabajabilidad.

3.- Pueden reducir el contenido de agua y en consecuencia aumentar la resistencia del concreto, conservando siempre la misma trabajabilidad.

4.- Permiten que se reduzca el contenido de cemento mientras se mantiene la relación agua/cemento y la misma resistencia, disminuyendo el contenido de agua, pero no conservando constante la trabajabilidad.

5.- Pueden aumentar la trabajabilidad de mezclas de resistencias elevadas ricas en cemento, que de otra manera serían demasiado rígidas para colarse con la relación agua cemento requerida.

La dosis necesaria es pequeña, entre 0.1 y 0.25 litros por 50 kg de cemento, y se debe agregar a la mezcla utilizando un surtidor. La dosis exacta depende de las proporciones de la mezcla y de la granulometría del agregado, siendo esenciales las pruebas para obtener la cantidad óptima.

Una sobredosis puede causar retardación del fraguado y se ha informado de casos en que el concreto se ha retardado hasta tres días, cuando por equivocación se agregó diez veces la dosis normal; la sobredosis no aumenta necesariamente la trabajabilidad y por lo tanto puede no notarse en el concreto fresco.

ADITIVOS RETARDANTES

Los retardantes reducen la velocidad de fraguado y, el endurecimiento del concreto, de manera que éste permanece trabajable durante más tiempo de lo normal. Los principales ingredientes activos de estos compuestos (que son generalmente líquidos) son ácidos hidroxicarboxílicos y sus sales, o lignosulfatos no refinados que contienen azúcares. Actúan formando una película alrededor de las partículas de cemento retardando de esta manera la reacción inicial entre el cemento y el agua.

El tiempo que el concreto permanece trabajable depende de su temperatura, trabajabilidad y relación agua/cemento. Se justifica el empleo de aditivos retardantes y son útiles cuando se presentan una o más de las condiciones siguientes:

1.- En climas cálidos, cuando la temperatura es mayor de 25 grados centígrados, para evitar el endurecimiento temprano y la pérdida de trabajabilidad, que dificultarían el colado.

2.- Cuando se requieran varias horas para terminar un colado grande de concreto y se debe continuar sin que se formen juntas frías, el retardante ayuda a conservar trabajable el concreto durante más tiempo.

3.- Cuando se utilizan siembras deslizantes.

4.- Cuando es probable una demora larga (digamos 30 minutos) entre el mezclado y el colado, como cuando se espera el concreto premezclado y hay retrasos por causa del tránsito o transporte a larga distancia, lo cual puede agravarse seriamente durante la época de calor, especialmente si el concreto tiene elevado contenido de cemento.

La dosis por cada 50 kg de cemento es pequeña; de 0.1 a 1 litro, y la cantidad exacta depende de la retardación de fraguado deseada que en la práctica generalmente es de dos a seis horas.

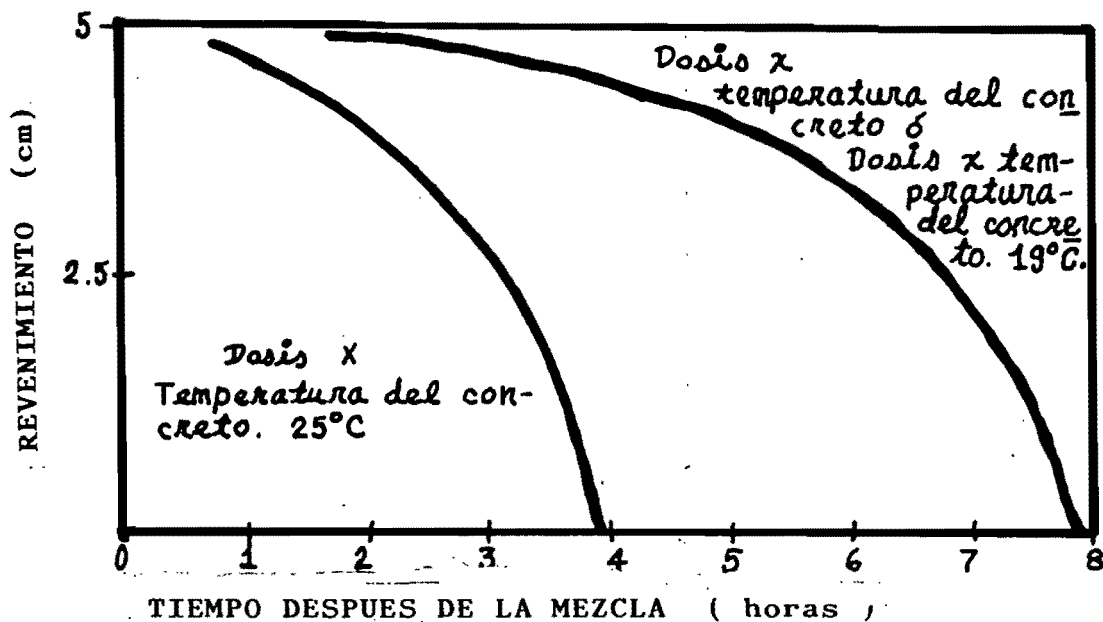
Siempre es importante efectuar mezclas de prueba. Las resistencias a 7 y 28 días pueden no ser afectadas, excepto por sobredosis, pero las resistencias a 24 y 48 horas sí pueden verse reducidas, lo cual influye en los tiempos de descimbrado. Hay que agregar siempre el retardante con un surtidor, al mismo tiempo que se está efectuando la mezcla; la adicción del retardante al final de la mezcla puede producir un retraso considerablemente mayor que cuando una dosis similar es agregada al principio.

ADITIVOS RETARDANTES REDUCTORES DEL AGUA.

Estos aditivos, como su nombre lo indica, combinan las funciones de un aditivo retardante y de un aditivo normal reductor de agua. Todos son líquidos compuestos de una gran diversidad de ingredientes activos principales, que pueden ser ácidos hidroxycarboxílicos o sus sales, lignosulfonatos o compuestos polihidróxidos.

En la figura siguiente se muestran dos relaciones típicas entre la trabajabilidad y el tiempo a diferentes temperaturas.

FIGURA " E "



La figura E nos indica la relación típica entre la trabajabilidad y el tiempo después de la mezcla con aditivos retardantes -reductores del agua-. Obsérvese el gran incremento en el tiempo durante el cual el concreto permanece trabajable cuando se duplica la dosis. Obsérvese también que el tiempo de retardación es afectado por la temperatura, un incremento de ésta, de 19 a 25 grados centígrados, reduce la retardación aproximadamente a la mitad.

ADITIVOS ACELERANTES

Los acelerantes aumentan la velocidad de la reacción química entre el cemento y el agua, lo que significa que el concreto adquiere consistencia, se endurece y desarrolla resistencia temprana con mayor rapidez.

Hasta hace poco, el acelerante más usado era el cloruro de calcio, tanto en forma de solución como en forma de escamas. Actualmente, ha quedado demostrado que la presencia de cloruros en el concreto, aún en cantidades muy pequeñas, aumenta el riesgo de corrosión del acero de refuerzo ahogado en el concreto presforzado, ese riesgo es todavía mayor, las normas y reglamentos han prohibido el uso de aditivos de cloruro de calcio en estos tipos de concreto.

Sin embargo, estos acelerantes pueden emplearse en el concreto simple, en cuyo caso, la dosis es generalmente de 1.5 % de cloruro de calcio anhidro por peso de cemento (equivalente al 2.00 % de cloruro de calcio en escamas por peso de cemento).

Desafortunadamente, hasta la fecha no existe un material que tenga todas las ventajas y ninguna de las desventajas del cloruro de calcio. Hay algunos acelerantes sin cloruro de calcio, pero son mucho más costosos que los de cloruro de calcio y menos efectivos.

El cloruro de calcio se ha utilizado en gran medida en épocas frías cuando la disminución de velocidad de la reacción química entre el cemento y el agua, por causa de la baja temperatura, es compensada por el incremento obtenido con el uso de cloruro de calcio. Para el trabajo en clima frío debe recurrirse a métodos técnicamente preferibles, como el calentamiento de concreto y el uso de mayores contenidos de cemento combinados con la conservación del calor del concreto durante las primeras 48 horas.

De cualquier modo, debe tenerse presente que ningún acelerante es un verdadero anticongelante, y que su uso no evita la necesidad de conservar caliente el concreto (mediante aislamiento) después de que ha sido colado. Estos aditivos aceleran el desarrollo de la resistencia principalmente a edades tempranas en las que a las 24 horas la resistencia de una mezcla de concreto debe incrementarse aproximadamente en un 25 % en comparación con la misma mezcla sin acelerantes; el efecto a los 3 y 7 días será progresivamente menor y a los 28 días es probable que no haya una diferencia importante.

El cloruro de calcio aumenta la contracción por secado y aunque esto no tiene mucha importancia en los concretos reforzados y probablemente tampoco la tenga en el concreto simple, su uso ha sido uno de los factores que causan problemas en los acabados y aplanados granolíticos de alta resistencia, particularmente cuando se cuegan separadamente o sin adherencia con la base. Por esta razón no debe utilizarse cloruro de calcio en los acabados.

ADITIVOS SUPERFLUIDIFICANTES.

Los superfluidificantes son relativamente nuevos y su uso es recomendable para los dos propósitos siguientes:



DEPFI

1.- Para aumentar en gran medida la trabajabilidad de una mezcla, de manera que se produzca un concreto fluido lo cual se logra generalmente elaborando primero una mezcla de unos 7.5 cm de revenimiento y agregando después el superfluidificante, que puede aumentar el revenimiento a más de 20cm.

Suponiendo que la mezcla haya sido diseñada para aceptar la adición de un superfluidificante ello no afectará la resistencia ni provocará segregación ni sangrado.

2.- Para producir concreto de alta resistencia, reduciendo la cantidad de agua, mucho más de lo que puede reducirse con un aditivo común fluidificante reductor de agua. Por ejemplo, con el uso de un superfluidificante puede obtenerse una reducción hasta del 30% del contenido de agua y conservar una trabajabilidad adecuada, en cambio, con un fluidificante común es posible obtener una reducción de sólo un 10% del contenido de agua. Esta propiedad es particularmente útil cuando se requiere una resistencia temprana elevada, por ejemplo, para caminos y losas de pisos.

El principal ingrediente activo de la mayoría de estos aditivos líquidos, es un formaldehído condensado de melanina sulfurado o un formaldehído condensado de sulfonato de naftaleno. No contienen cloruros y no son inclusores de aire importantes.

En las mezclas normales de concreto, las partículas de concreto tienden a formar grumos que no se disgregan totalmente durante la mezcla. Los fluidificantes normales actúan dispersando las partículas individuales que forman los grumos, mientras que los superfluidificantes ejercen una acción mucho más eficaz y mejoran significativamente la trabajabilidad.

La trabajabilidad aumenta sólo durante un tiempo limitado y después vuelve a lo que era antes de la adición del aditivo, ya que ésta duración es de aproximadamente 60 minutos; es mejor cuando se usa concreto premezclado, agregar el superfluidificante en la obra, en vez de hacerlo en la planta.

En comparación con los fluidificantes normales, la dosis es elevada: de 0.3 a 1.5 litros por cada 50 Kg. de cemento de la mezcla. Es muy importante que el concreto se mezcle por lo menos durante dos minutos después de la adición del superfluidificante.

El costo de los superfluidificantes es bastante más alto que el de los fluidificantes normales y su uso puede elevar el costo del concreto, por lo que es probable que el uso de superfluidificantes quede restringido a trabajos en los que la facilidad y velocidad de colado compensen el aumento del costo. Ejemplo típico son los lugares en donde el acero de refuerzo está particularmente cerrado y dificulta el colado y la vibración, o las áreas extensas, como las de las losas, en las que es muy útil el concreto fluido y de colado fácil.

Un concreto de alta resistencia con reducción de agua, y que contenga un superfluidificante, está limitado principalmente a la elaboración de elementos prefabricados.

La fluidez del concreto fluido es tal, que se requiere poca vibración para lograr su total compactación: trabes, muros y columnas pueden compactarse manualmente por varillado, aunque es deseable contar con un atizador en las losas, el concreto debe estar lo suficientemente compactado por sí mismo de tal modo que el acabado de la superficie se pueda lograr con el simple uso de una llama; pero también debe evitarse la sobrecompactación, ya que puede provocar segregación y sangrado.

Como ya se indicó es esencial que la mezcla haya sido diseñada tomando en cuenta el uso del superfluidificante y que se mantenga un alto grado de control en todas las proporciones.

Por ejemplo, si a una mezcla con revenimiento nominal de 7.5cm diseñada de manera común se le aumenta el contenido de arena en un 5% aproximado, se puede obtener un concreto fluido adecuado mediante la adición de un superfluidificante.

ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE .

Después del compactado, el concreto normal puede contener alrededor del 1% de aire atrapado, distribuido irregularmente en forma y tamaños variados.

La inclusión intencional de aire origina una cantidad controlada (alrededor del 5% por volúmen) de pequeñísimas burbujas de igual tamaño, distribuidas uniformemente en toda la mezcla del concreto. El aire incluido mejora las propiedades del concreto, tanto en su estado fresco como en el endurecido, como se explica a continuación:

1.- Concreto fresco; las diminutas burbujas de aire actúan como pequeños baleros en el concreto fresco y mejoran mucho su trabajabilidad. Por ejemplo, si un aditivo inclusor de aire se agrega a una mezcla normal, con revenimiento de 5cm., éste aumentará hasta un poco más de 15cm. Sin embargo, éste concreto más trabajable perderá cerca del 20% de su resistencia; ya que cada 1% de aire atrapado accidentalmente, o incluido deliberadamente, produce alrededor del 4% de pérdida de resistencia; no obstante, si el contenido de agua de ese concreto se reduce para volver a obtener el revenimiento de 5cm., la mayor parte de la resistencia perdida se recobrará. El aire incluido también mejorará la cohesión de mezclas gruesas y reduce la segregación y el sangrado

2.- Concreto endurecido. La razón principal para utilizar un aditivo inclusor de aire es que la presencia de las pequeñas burbujas de aire en el concreto endurecido aumenta su resistencia a la acción de las heladas y de las sales descongeladas ya que actúan como cámaras de expansión cuando se hiela el agua contenida en los capilares; tienen mayor resistencia a las aguas agresivas, como consecuencia de su menor permeabilidad y absorción capilar; además el concreto aireado es más impermeable y menos absorbente por capilaridad, debido al efecto de las burbujas de aire interceptando los capilares.

La mayoría de los aditivos inclusores de aire, son resinas viscosas obtenidas como producto secundario en el procesamiento de la madera para producir papel.

La cantidad de aire que generalmente se debe incluir ha sido especificado del 3% al 6%. La dosis necesaria de aditivo para lograr la cantidad requerida de aire, depende de muchos factores:

- El contenido de arena.
- La granulometría de la arena.
- El contenido de cemento.
- La temperatura.
- El tiempo de mezclado.

Es esencial que se preparen muestras de prueba para garantizar que las mezclas tendrán la trabajabilidad, resistencia e inclusión de aire requeridas. La dosis requerida será de 30 a 60ml por 50 kg. de cemento y con el fin de asegurar un proporcionamiento exacto siempre debe utilizarse un surtidor. De manera especial se recalca que los cambios en la granulometría de la arena y en la temperatura durante la producción del día, pueden existir algunos ajustes en la dosis. Es esencial la dispersión apropiada en la mezcla, por lo que el aditivo debe agregarse al mismo tiempo que el agua, o ya mezclado con el agua.

El concreto con aire incluido es el especificado para todas aquellas estructuras de concreto a la intemperie que estén expuestas a medios ambientes agresivos y de las heladas y al uso de descongelantes.

Las mezclas ásperas, frecuentemente con agregados de roca triturada, pueden hacerse más cohesivas mediante el uso de aditivos inclusores de aire. De manera similar, las mezclas que tienden a segregarse y a sangrar, pueden mejorarse mediante la inclusión de aire que, además reduce el riesgo de grietas por asentamiento plástico y grietas por contracción plástica.

También existen indicios de que la uniformidad de color y la reducción de manchas en la superficie se mejora con el uso de inclusores de aire.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

Después de lo expuesto anteriormente, sin duda alguna se aprecia que no es "uno", sino "varios" los componentes principales del concreto. Por ejemplo, realizar una mezcla de concreto sin agua, no es posible ya que es ella la que provoca la reacción química de los componentes y por otro lado le proporciona la trabajabilidad a la mezcla. Sin embargo es recomendable colocar el mínimo de agua estrictamente necesario, ya que agua en exceso crea una serie de huecos capilares.

En el concreto ya colocado, para evitar la pérdida por evaporación, se debe curar con abundancia de agua.

Para el agua de mezclado, las normas obligan a analizar el agua solamente cuando no se posean antecedentes de su utilización, pero es conveniente analizarlas periódicamente para evitar problemas posteriores. Cuando es estrictamente necesario utilizar agua de mar para mezclar el concreto, debe evitarse la presencia de algas, ya que impide la adherencia agregado-pasta, (lo cual a la larga provoca poros en el concreto). Pero no es el agua el principal componente, ya que sin cemento y agregados (grava y arena) no es posible realizar un concreto.

Con respecto al cemento, es importante balancear sus componentes para satisfacer las resistencias mecánicas y físicas al máximo posible. Pero independientemente del tipo de cemento que se use es conveniente realizar pruebas para verificar la calidad del mismo.

Con lo que respecta a las características físicas y mecánicas es conveniente recordar que si el cemento posee una finura excesiva, su retracción y calor de fraguado son muy altos y por el contrario la resistencia mecánica aumenta.

Si el grano es muy grueso su rendimiento es poco, ya que el núcleo queda prácticamente inerte (el grano de cemento sólo alcanza a hidratar una profundidad de 0.01 mm). Por lo tanto la mayor finura del cemento el fraguado es tanto más corto y rápido.

Por lo que se refiere a los agregados, se tienden a utilizar gruesos de mayor diámetro para hacer más económica la mezcla, (pero el tamaño está limitado por la forma y dimensiones de los elementos así como de la cantidad y distribución del acero de refuerzo).

También se deben evitar los agregados de textura rugosa o bien planos y alargados, ya que se consume mayor cantidad de agua para producir un concreto trabajable y ello conlleva a un mayor consumo de cemento.

Es conveniente utilizar agregados que no reaccionen con el cemento de manera perjudicial y en caso de existir duda sobre el comportamiento del agregado es preferible realizar pruebas de laboratorio en las cuales se observe: que cantidad de materia se espese (desprende); su absorción y estructura del poro; su humedad superficial; impurezas inorgánicas, si contiene partículas ligeras, terrosas, etc.....

Por ejemplo una partícula inestable puede experimentar expansiones de tal magnitud que puede ser perjudicial para el concreto.

Por último la diferencia principal entre los agregados triturados y naturales es que los primeros presentan aristas más vivas, por ello resisten mayor tracción, tensión, dan mayor adherencia, son menos dóciles y resisten más la abrasión.

En lo referente a los aditivos si una mezcla está diseñada apropiadamente, no se requiere su uso para elaborar un buen concreto.

En caso de que sea necesario llegar a usar aditivos, es conveniente: cerciorarse de que las especificaciones permiten su uso, usarlo en la cantidad recomendada (no añadir un poquito más), y principalmente realizar pruebas preeliminarias, para verificar que modificaciones hace en las propiedades del concreto.

En conclusión, para elaborar un buen concreto se debe evitar el uso de aditivos; usar cemento, agregados y agua que hayan pasado las especificaciones marcadas y sobre todo, realizar periódicamente una supervisión con el fin de llevar un control de calidad de los mismos.

Quizás realizar lo anterior sea un gasto "aparentemente" excesivo, pero en virtud de la magnitud de la obra y para evitar gastos posteriores para "reparar" y "mantener" es conveniente realizarlos.

B I B L I O G R A F I A

- 1) Manual de Concreto, parte III, Sría. de Recursos Hidráulicos, 1970.
- 2) Normas ASTM para cemento y concreto.
- 3) Tecnología del concreto, Tomos I y II, A.M., Neville, Nueva Serie IMCYC, 1977.
- 4) Manual para el acreditamiento de laboratorios de pruebas de concreto, SINALP.
- 5) Guía del consumidor de concreto premezclado Carsa.
- 6) Control de calidad del concreto (ACI - 704) Nueva Serie, IMCYC 18, 1981.
- 7) Cartilla del concreto (ACI - 309), IMCYC 15, 1983.
- 8) Cementos producidos en México, Jorge M. Villaseñor. Revista IMCYC. Vol. 24. Núm. 183. México, Agosto, 1986.
- 9) Nom- C- 1. "Cemento Portland" Dirección general de Normas de México, 1980.
- 10) Nom-C-2. "Cemento Portland Puzolana". Dirección general de normas de México, 1986.

- 11) Nom. C-57. "Determinación de la consistencia Normal". Dirección General de Normas. México, 1, 1986.
- 12) Nom-C-59. "Determinación del tiempo de Fraguado". Dirección general de normas. México, 1975.
- 13) Nom-C-61." Determinación de la resistencia a compresión". Dirección general de normas. México, 1963.
- 14) Nom-C-132. "Determinación del falso fraguado".Dirección general de normas. México, 1970.
- 15) Nom-C-152. "Determinación del peso específico". Dirección general de Normas". México, 1970.
- 16) "USE OF CEMENT STRENGTH UNIFORMITY INFORMATION". Richard D. Gaynor. P