



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ARAGON"

ADITIVOS PARA CONCRETO

TESIS PROFESIONAL
Que para obtener el Título de:
Ingeniero Civil

Presenta:
JOSE HUGO LOPEZ MACHADO



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 está 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES ARAGON - UNAM

I N G E N I E R I A

San Juan de Aragón, Edo. de Méx., 24 de enero de 1986.

Tesis que desarrollará el Sr. (la Srita.) _____

_____ José Hugo López Machado _____

CARRERA Ingenerfa Civil

TITULO:

ADITIVOS PARA CONCRETO

CAPITULOS:

INTRODUCCION

- I GENERALIDADES DE LOS ADITIVOS
- II TIPOS DE ADITIVOS
- III CONCRETOS CON ADITIVOS
- IV PREPARACION Y DOSIFICACION DE ADITIVOS

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

ING. FEDERICO JAUREGUI RENAUD
COORDINADOR DE INGENIERIA

ING. JOSE PAULO MEJORADA IN.
DIRECTOR DE TESIS



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
DIRECCION

JOSE HUGO LOPEZ MACHADO
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 24 de enero del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JOSE PAULO MEJORADA MOTA pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado " ADITIVOS PARA CONCRETOS ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para reiterar a usted las bondades de mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Méx., febrero 3 de 1986.
EL DIRECTOR

LIC. SERGIO ROSAS ROMERO

c.c.p. Coordinación de Ingeniería (21).
Unidad Académica.
Departamento de Servicios Escolares.
Asesor de Tesis.

I N D I C E

<u>CAPITULOS</u>	<u>PAG.</u>
INTRODUCCION	6
I GENERALIDADES DE LOS ADITIVOS	10
1.- Antecedentes	11
2.- Clasificación	13
3.- Grupos y Tipos de Aditivos	14
4.- Uso de los Aditivos	15
II TIPOS DE ADITIVOS	17
1.- Plastificantes o Aditivos para Mejorar la Manejabilidad	18
1.1.- Inclusiones de Aire	18
1.2.- Dispersantes o Fluidizantes	35
1.3.- Agentes Densificadores	40
1.4.- Otros Plastificantes	43
2.- Aditivos que Modifican los Tiempos de Fraguado y de Endurecimiento	52
2.1.- Retardantes	52
2.2.- Aditivos Aceleradores	67
3.- Impermeabilizantes Integrales	88
3.1.- Aditivos Repelentes al Agua	100
3.2.- Reductores de la Permeabilidad	103
4.- Agentes que Causan Expansión del Concreto	107
4.1.- Aditivos Generadores de Gas	108
4.2.- Estabilizadores de Volumen	114
4.3.- Concreto Celular	122

	<u>Pag.</u>
5.- Materiales Pulverizados	123
5.1.- Materiales Inertes y Materiales Cementantes	123
5.2.- Puzolanas	126
5.3.- Agentes de Cristalización	138
6.- Agentes de Adherencia	141
7.- Anticorrosivos del Concreto y del Fierro	142
7.1.- Protección del Concreto Contra la Corrosión	145
7.2.- Corrosión del Fierro de Refuerzo	146
7.3.- Protección del Fierro Contra la Corrosión	147
8.- Colorantes y Esterilizantes	148
III CONCRETOS CON ADITIVOS	154
1.- Concretos Fluidificados	155
2.- Concretos Acelerados	156
3.- Concretos Retardados	156
4.- Concretos Impermeabilizados	158
5.- Concretos de Color	158
6.- Concretos Expansores	160
7.- Concretos Esterilizados	161
8.- Concretos de Mayor Resistencia	161

	<u>Pag.</u>
IV PREPARACION Y DOSIFICACION DE ADITIVOS	163
1.- Recomendaciones para la Preparación y Dosificación de los Diferentes Tipos de Aditivos	164
2.- Dosificación de un Aditivo Inclusor de Aire	174
CONCLUSIONES	190
BIBLIOGRAFIA	192

I N T R O D U C C I O N

Los aditivos se utilizan en todos los terrenos y en toda clase de aplicaciones. El caucho se mejora mediante productos que los hacen más resistentes a la oxidación, a la luz, al envejecimiento, o que le permiten conservar mejor su elasticidad en el tiempo. Los carburantes reciben estimulantes adecuados (antidetonantes, antioxidantes, lubricantes). Las pinturas tienen también sus aditivos: antiespumantes, dispersantes, espesantes, fungicidas, humectantes, estabilizadores. En el terreno de la agricultura, los abonos y productos de corrección mejoran el estado físico del suelo y modifican sus propiedades químicas biológicas. En materia culinaria, las especias cambian el sabor de los alimentos; numerosos productos favorecen la conservación de la leche del pan..., y no hay que decir de los medicamentos..., es pues natural que los cementos y los concretos tengan sus propios aditivos, lo mismo que muchos otros materiales de construcción.

Los aditivos se usan cada vez más en los morteros y concretos; por los siguientes motivos:

Los aditivos se perfeccionan incesantemente.

Al principio se usaban sin purificarlos, determinados subproductos de la industrial papelera o petrolífera, de lo que resultaban variaciones de composición química, según las fechas de entrega y las procedencias de aprovisionamiento. Actualmente la orientación se dirige cada vez más hacia un control de calidad de esos subproductos, y a una corrección de sus composiciones gracias a tratamientos y adiciones. Al empirismo inicial han sucedido investigaciones sistemáticas que han conducido a la fabricación de productos básicos especiales o de una mezcla de materias primas existentes, a fin de presentar al mercado aditivos polivalentes.

Los constructores recurren cada vez más a su empleo.

Esos productos, bien utilizados, permiten eficazmente modificar o mejorar:

- La plasticidad del concreto fresco (mejorar docilidad, disminución - del sangrado y de la segregación...);
- El fraguado y el endurecimiento (aceleradores, retardadores);
- Las resistencias mecánicas en ciertas épocas;
- Las resistencias a las acciones físicas (heladas), a las acciones mecánicas, a las acciones químicas.

Permiten una mejor organización de la obra en construcción, una mayor regularidad de ejecución y de calidad de los concretos. Ciertas técnicas quedan muy simplificadas gracias a su empleo (concreto en condiciones especiales, morteros y concretos lanzados o proyectados, pastas y morteros inyectados...), ciertos trabajos resultan posible, cualesquiera que sean las condiciones del medio (bajo el agua, en épocas de calor o de frío...). Su utilización puede algunas veces rebajar el costo total de la obra (por mejora del rendimiento, facilidad de puesta en obra, ganancia de tiempo...). En cambio, no permite a no ser de modo excepcional, disminuir la dosis de cemento, por razones evidentes de la perennidad de las obras; porque aun siendo exacto que las resistencias mecánicas pueden ser mantenidas gracias a una constancia de la relación agua/cemento, la disminución de la dosis de cemento trae consigo consecuencias nefastas en lo relativo a la permeabilidad, la protección de las armaduras, la resistencia del concreto a los agentes físicos y químicos..., por todo lo cual es preciso no querer asimilar los reductores de agua a reductores de cemento.

Ante un problema concreto el constructor tendrá que plantearse la cuestión de saber si se debe utilizar un aditivo; luego saber cual deberá usarse y finalmente cómo y con qué dosis debe usarlos. Tendrá que consultar las instrucciones de los fabricantes y remitirse a documentos especiales. Deberá saber eventualmente qué ensayos de control ha de efectuar a pie de obra para precisar la dosificación óptima a emplear, ya que los efectos de un aditivo pueden variar con gran número de factores y, en particular, con la naturaleza del cemento. Finalmente, tendrá -

que comprobar que su personal respete cuidadosamente los métodos operativos prescritos, vigilando incluso al operario que maneja la mezcladora a fin de cuentas es el que efectúa la dosificación del aditivo.

CAPITULO I
GENERALIDADES DE LOS ADITIVOS

1.- ANTECEDENTES

Los aditivos para concreto fueron descubiertos a principios de la - década de los treinta como resultado de la aplicación del principio de la dispersión, el cual ya había sido utilizado en la cerámica, - los pigmentos y otros campos.

El uso de la dispersión en el campo del concreto y de los morteros tuvo que esperar antes de encontrar un agente dispersante del cemento que fuera efectivo y que no interfiriera con la relación entre - éste y el agua.

En el año de 1946 el Dr. E.W. Scripture Jr. describía el efecto de la dispersión como sigue:

"Cuando el cemento Portland se mezcla con el agua, las partículas - individuales tienden a agruparse formando grumos, de tal forma que el sistema sólido-líquido se floclula. Si se utiliza un agente dispersante en la mezcla, los grumos se rompen en partículas individuales de cemento."

"La dispersión del cemento produce tres importantes efectos:

a) El agua que ha sido atrapada en los grumos es liberada y pasa a formar parte del agua de mezclado o de colocación; b) el área de - contacto del cemento con el agua se incrementa, ya que las particulas de cemento ya no están en contacto una con otra; c) una cierta cantidad de aire adicional es atrapado"

"Como resultado del primer efecto, la cantidad de agua requerida por la mezcla se reduce. El segundo efecto al mejorar la reacción de - hidratación, promueve una mayor eficiencia del cemento. El aire - adicional contribuye a mejorar las propiedades del concreto en cuanto al sangrado y la durabilidad, como en el caso de los inclusores de aire.

"Por la reducción en la relación agua/cemento y por el incremento en el área superficial del cemento se logra obtener una mayor eficiencia de éste."

Poco después de la Segunda Guerra Mundial a mediados de los cuarenta, los aditivos fueron introducidos en México por empresas que actuaban como distribuidores de fabricantes extranjeros.

En la década de los cincuenta los aditivos se empezaron a fabricar en México con la aplicación de los múltiples avances en tecnología desarrollados hasta nuestros días, en los que se han incorporado gran cantidad de materias primas de origen nacional.

En sus inicios, el proceso de industrialización se limitaba a la mezcla y envasado a partir de compuestos y productos semielaborados de origen extranjero.

Expansiones posteriores de las plantas productoras, así como la incorporación de procedimientos de control de calidad, permitiendo aplicar la tecnología disponible y finalmente, la fabricación de los aditivos para concreto a partir de las materias primas básicas.

Esto ha permitido poner a disposición de la industria mexicana de la construcción toda una extensa gama de formulaciones de alta calidad a precios iguales o menores a los importados. En 1948 la ASTM en su norma C125 (términos relacionados con el concreto y los agregados para concreto) definió el término ADITIVO como: "Un material distinto al agua, a los agregados y al cemento Portland, que se usa como ingrediente en el concreto y que se añade inmediatamente antes o durante su mezclado"

Establecer que se usa como ingrediente en el concreto implica que se pretende obtener un resultado predeterminado e intencional y que su acción dentro de la mezcla de concreto ha sido ya tomada en cuenta

ta junto con los demás ingredientes al momento de establecer el diseño final.

Es decir, con el uso de un aditivo buscamos modificar u obtener características específicas en el concreto o en su comportamiento, ya sea en su fase plástica o en su fase endurecida.

2.- CLASIFICACION

A pesar de las muy diversas propiedades de los innumerables productos que se conocen como aditivos, se han podido establecer grupos - de ellos, bien definidos atendiendo al efecto que causan en el concreto, sin tomar en cuenta su constitución química. En el número - de noviembre de 1963 del American Concrete Institute (ACI) se publicó el último reportè del comité 212, ampliando la clasificación que se hizo en 1954 sintetizando las ventajas y limitaciones de los aditivos. En el mencionado reporte se presentan los aditivos en 15 - grupos en los cuales también se toman en cuenta los constituyentes de cada uno para definir el tipo comprendido en un determinado grupo. Cuando un aditivo tiene varias propiedades se considera en el grupo que corresponde a los efectos más importantes en el concreto. En Europa se siguen otros métodos de clasificación y se han establecido normas que a veces no se identifican con las de los EE. UU. y aunque en muchos de los casos los puntos de vista europeos se avienen más a los procedimientos que se siguen en México, en este trabajo se ha seguido la clasificación de los EE. UU., aceptando también las especificaciones, tentativas y normas ya establecidas para esta clase de productos.

Sin embargo, para facilitar la comprensión de las diferencias fundamentales entre los tipos aditivos y las particularidades propias de cada uno, hemos formado primero grupos principales que a su vez comprenden otros secundarios, según se presentan en el siguiente cuadro:

(Grupos y tipos de aditivos)

Fuera de la clasificación de los aditivos se tienen productos protectores de concreto, ya sea en su primera etapa de manufactura, como los "agentes de curado" o en la etapa final, como endurecedores químicos de superficie o endurecedores metálicos; y por último los repelentes superficiales como los silicones.

3.- GRUPOS Y TIPOS DE ADITIVOS

3.1.- Mejoradores de la manejabilidad del concreto o plastificantes:

- a) Inclusores de aire.
- b) Dispersantes o fluidizantes.
- c) Densificadores.
- d) Otros plastificantes.

3.2.- Modificadores de los tiempos de fraguado y de endurecimiento:

- a) Retardantes.
- b) Acelerantes.

3.3.- Impermeabilizantes integrales:

- a) Repelentes a la absorción capilar.
- b) Reductores de la permeabilidad.

3.4.- Agentes de expansibilidad:

- a) Generadores de gas.
- b) Estabilizadores de volumen.
- c) Concreto celular.

3.5.- Materiales pulverizados:

- a) Inertes.
- b) Cementantes.

- c) Puzolanas.
- d) Agentes de cristalización.

3.6.- Agentes de adherencia:

- a) Resinas.
- b) Hule sintético "látex reemulsionables"
- c) Polímeros no reemulsionables.
- d) Emulsiones.

3.7.- Anticorrosivos del concreto y del fierro.

3.8.- Colorantes, fungicidas, germicidas e insecticidas.

4.- USO DE LOS ADITIVOS

Los aditivos pueden usarse para los siguientes fines:

- 4.1.- Aumentar la trabajabilidad sin aumentar el contenido de agua o para reducir el contenido de agua, logrando la misma trabajabilidad.
- 4.2.- Acelerar la velocidad de desarrollo de resistencia a edades tempranas.
- 4.3.- Aumentar la resistencia.
- 4.4.- Retardar o acelerar el fraguado inicial.
- 4.5.- Retardar o reducir el desarrollo de calor.
- 4.6.- Modificar la velocidad o la aptitud de sangrado o ambos.
- 4.7.- Aumentar la durabilidad o la resistencia a condiciones severas de exposición incluyendo la aplicación de sales para quitar el hielo.

- 4.8.- Controlar la expansión por la reacción de los alcalis con cloruros constituyentes de los agregados.
- 4.9.- Reducir el flujo capilar del agua.
- 4.10.- Reducir la permeabilidad de los líquidos.
- 4.11.- Para producir concreto celular.
- 4.12.- Mejorar la penetración y el bombeo.
- 4.13.- Reducir el asentamiento, especialmente en mezclas para rellenos.
- 4.14.- Reducir o evitar el asentamiento o para originar una leve expansión en el concreto o mortero, usados para rellenar huecos y otras aberturas en estructuras de concreto y en rellenos para cimentación de maquinaria, columnas o trabes o para rellenar ductos de cables de concreto postensado o vacíos en agregado precolado.
- 4.15.- Aumentar la adherencia del concreto y el acero.
- 4.16.- Aumentar la adherencia entre concreto viejo y nuevo.
- 4.17.- Producir concreto o mortero de color.
- 4.18.- Obtener concretos o morteros con propiedades fungicidas, germicidas o insecticidas.
- 4.19.- Inhibir la corrosión de metales sujetos a corrosión embebidos en el concreto.
- 4.20.- Reducir el costo unitario del concreto.

CAPITULO II
TIPOS DE ADITIVOS

1.- PLASTIFICANTES O ADITIVOS PARA MEJORAR LA MANEJABILIDAD

1.1.- Inclusores de Aire

Se define un agente inclusor de aire como "Un aditivo para cemento hidráulico o un aditivo para concreto o mortero que origina aire en el concreto o mortero, usualmente en pequeñas cantidades en forma de burbujas (aproximadamente de 1 mm. de diámetro o más pequeñas), durante el mezclado y usualmente para aumentar la trabajabilidad y la resistencia al congelamiento".

Efecto

El propósito fundamental de la inclusión de aire en el concreto es darle un alto grado de resistencia a la acción destructiva del congelamiento y deshielo, así como a las sustancias químicas usadas para deshelar.

Sin embargo, también se recomienda el uso de aire incluido en concreto por otras razones. La inclusión de aire cambia favorablemente un gran número de propiedades de la mezcla fresca de concreto. Mejora la plasticidad y la trabajabilidad, permitiendo una reducción del contenido de agua. Se pueden lograr más fácilmente la uniformidad en la colocación y la compactación reduciendo la segregación. También se reduce el sangrado. Además de mejorar la resistencia del concreto endurecido a la congelación y deshielo o a la escamación producida por las sustancias químicas para quitar el hielo, el aire incluido también aumenta la resistencia del concreto a la acción de los sulfatos. La resistencia al paso del agua del concreto con aire incluido es mayor que la resistencia del concreto sin aire incluido.

También se reduce el peso unitario. La inclusión de aire al mismo tiempo que mejora la trabajabilidad y la durabilidad puede reducir la resistencia. Dentro de los límites de los

contenidos de aire comunmente usados, la disminuci3n de la resistencia es usualmente proporcional a la cantidad de aire incluido. En muchos tipos de concreto expuestos a la intemperie, una peque1a reducci3n de resistencia es de menor importancia que la mejoría en la resistencia a la acci3n de hielo. La reducci3n de resistencia raras veces excede de un 15% en el caso resistencia a la compresi3n y de un 10% en el caso de la resistencia a la flexi3n. Estas cifras son para contenidos iguales de cemento con cantidades reducidas de arena y agua que permiten la inclusi3n de aire por el aumento de trabajabilidad de este tipo de mezcla.

Factores que afectan el contenido de aire

Para una misma cantidad de aditivo inclusor de aire por unidad de volumen, las mezclas de concreto pobres, que por su naturaleza son las que contienen m1s arena, pueden incluir m1s aire que las mezclas ricas en cemento. Esto se debe a que la arena es el factor predominante en producir aire mientras que el cemento lo es para inhibirlo.

Los tama1os de arena comprendidos entre las mallas 30 y 100 son los determinantes en la inclusi3n de aire, aunque tambi3n la forma de los granos tiene alguna importancia. Los granos redondeados incluyen m1s aire que los de aristas angulares. La finura del cemento tambi3n es un factor, pero negativo; entre m1s fino, m1s reduce el aire, por eso un concreto hecho con cemento tipo III necesita una mayor cantidad de inclusor para un porcentaje determinado de aire que un concreto con cemento tipo I.

El proporcionamiento del agente inclusor de aire se especifica con relaci3n al cemento, no obstante que el factor determinante es la arena.

Esto se debe a que la cantidad de agregado fino por metro cúbico de concreto puede fluctuar más fácilmente, al determinar la manejabilidad, que el consumo de cemento por metro cúbico. Algunos otros aditivos que se usan en la manufactura del concreto pueden tener influencia negativa en la inclusión de aire. Por ejemplo: el carbón usado como colorante y la ceniza volcánica son reductores, así como el cloruro de calcio. Otros factores como el revenimiento y la temperatura hacen variar el efecto del agente inclusor. A mayor revenimiento (más de 15 cm.) el aire no permanece estable en la masa y a menor temperatura se incluye más aire con una misma cantidad de aditivo.

En todo caso es conveniente y a veces indispensable medir la cantidad de aire incluido en la mezcla en el sitio mismo donde se prepara el concreto. Para esto existen ollas portátiles en las cuales se pone la muestra de concreto en un recipiente hermético donde se le sujeta a una cierta presión y se determina la cantidad de aire incluido por la diferencia de presión o de volumen. La cantidad óptima de aire incluido en un concreto dado, depende del uso a que se destina la estructura, del tamaño máximo del agregado y de la riqueza de la mezcla. Pero generalmente el contenido de aire debe quedar comprendido entre 3% y 6% del volumen total del concreto. En pavimentos de caminos se especifican límites más altos (entre 4% y 7%) principalmente en climas fríos donde se requiere mayor resistencia del concreto a la congelación y al deshielo. En cambio en estructuras de concreto reforzado, estos límites se reducen a solamente de 3% a 4%.

La cantidad óptima de aire incluido también es función del tamaño máximo del agregado. Entre más grande menor cantidad de aire se necesita. Por ejemplo, en concreto masa con piedras hasta de 15 cm. de diámetro no debe exceder de 3% pero en cambio cuando el agregado máximo es de 1/2 pulgada puede necesi-

tarse 8 y 9% de aire incluido. En los morteros de cemento y aire es normal un contenido de 16 a 20%. Otra variables es el contenido de cemento. Una mezcla rica requiere menos aire, porque precisamente el alto contenido de cemento lo hace más plástica y más duradera; pero en mezclas con un alto contenido de cemento la inclusión de aire puede tener un efecto desfavorable en la resistencia, a pesar de la reducción de agua obligada por el volumen de aire incluido.

Quando los agregados disponibles, principalmente la arena sean del tipo áspero o abrasivo como ciertas arenas volcánicas y la arena de concha de mar, está indicada la inclusión de mayor cantidad de aire que cuando el agregado es normal, con lo cual se obtienen muy buenos resultados en la manejabilidad, aunque entonces hay que aumentar también el contenido de cemento para que la relación no exceda de ninguna manera al 6% del volumen.

Docilidad de los agregados

El efecto principal de los inclusores de aire en un concreto comun es la gran reducción de la relación agua/cemento, que es posible hacer conservando el concreto la misma trabajabilidad; lo que facilita considerablemente la colocación con menos segregación, eliminando casi por completo el sangrado.

Las microscópicas burbujas de aire, parecen lubricar los granos de arena y de grava, suavizando el contacto entre ellos como si se les agregaran infinidad de balines sobre los cuales se deslizan los granos (Fig. 1).

Una experiencia muy objetiva consiste en hacer un concreto símulado: grava, arena y agua con una consistencia muy rígida y someterla a la prueba de revenimiento, cercana a cero. Agregarle entonces un porcentaje adecuado de algún inclusor de aire y repetir la prueba. Se anotará inmediatamente un aumen

to considerable del revenimiento.

Aumento de cohesión

Las burbujas de aire de tamaño equivalente a los granos de arena comprendidos entre la malla 30 y la 100 se adhieren al agregado fino como si fueran a su vez otros tantos granos, pero elásticos en vez de rígidos. Cada una de estas burbujas mantiene la adherencia entre dos o más granos de arena gracias a la tensión superficial del agua en el punto de contacto con el aire. Los meniscos de estas burbujas ligan a los puntos de contacto de las esferas de aire con las arenas y aumentan la cohesión del conjunto sin perjuicio de que se amolde fácilmente al espacio que lo contiene.

Este aumento de cohesión es el factor que produce la disminución del sangrado y a su vez contribuye a interrumpir la continuidad de la red capilar, lo que también reduce la posibilidad de la absorción capilar en el concreto endurecido.

Durabilidad

Uno de los más notables efectos del aire incluido en el concreto es el aumento de resistencia a la congelación y al deshielo, principalmente en los pavimentos de caminos. Las innumerables burbujas, distribuidas cerca de la superficie de una losa de concreto expuesta a la humedad y a la congelación, sirven para aliviar la presión del agua aprisionada por la que se encuentra sobre la superficie en el momento de congelarse y que inmediatamente la sella. Cuando la congelación continúa, se forman cristales de hielo en las cavidades y conductos capilares superficiales, llenos de agua, ocupando un volumen aproximadamente 10% mayor. Este aumento de volumen presiona al agua aún no congelada y la fuerza a ocupar los espacios de aire de la red capilar del concreto.

Si la congelación sigue progresando podrá ocupar los espacios disponibles en el interior de la masa de concreto, pero si no los hubiera se produciría un resquebrajamiento de toda la zona congelada.

La resistencia a la congelación aumenta de 300 a 700% en el concreto con aire incluido (Fig. 2).

La inclusión de aire también aumenta la resistencia del concreto a la acción desintegrante de los sulfatos al formarse cristales de una manera parecida a la congelación del agua; pero además, es conveniente usar un cemento con bajo contenido de aluminato tricálcico, para evitar la acción química del ácido sulfúrico con la cal, lo que daría sales solubles e incapaces de endurecer.

El beneficio principal que se obtiene al incluir aire en el concreto con objeto de evitar la posible corrosión por los sulfatos es la interrupción de los canales capilares, como se ve en la Fig. 3, dejando ampollas o cavidades donde se alojan compuestos de azufre que ocupan mayor volumen e impiden el paso de las aguas cargadas de sales hacia la red capilar en el interior de la masa.

Anteriormente se ha dicho que la cantidad de aire incluido puede producir una disminución en la resistencia de un concreto de alto contenido de cemento (más de 300 Kg. por metro cúbico), pero en concretos menos ricos, si la inclusión de aire se mantiene abajo del 6%, la reducción de resistencia puede compensarse fácilmente con el ajuste en el contenido de agua.

En todo caso, las bajas de resistencia que se acusan en los cilindros de prueba no revelan la condición real que se presenta en la obra de concreto. En ésta las resistencias, en su inmensa mayoría, son mayores cuando se ha incluido aire microscópico, intencionalmente o no, en las masas de concreto.

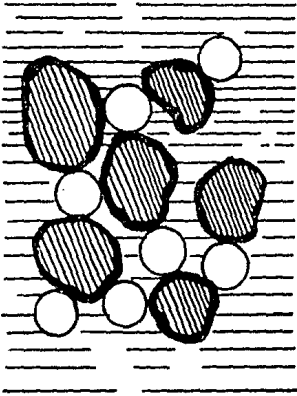


Fig. 1 Las microscópicas burbujas de aire hacen el efecto de balines elásticos sobre los cuales deslizan los granos de arena.

Fig. 2 El aumento de volumen del agua al congelarse presiona al agua aún no congelada a través de la red capilar, y las fisuras *f* no se producen.

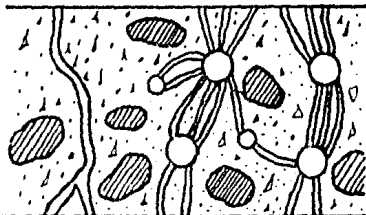
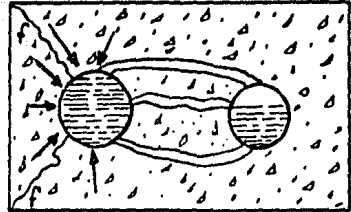


Fig. 3 La inclusión de aire interrumpe los canales capilares -- creando alveolos; el ensanchamiento del tubo capilar detiene la absorción.

Las muestras comparativas que se obtienen de corazones de concreto endurecido, revelan evidentemente esta particularidad. Generalmente son costosas, aunque es aconsejable llevarlas a cabo en las estructuras que lo ameriten.

La inclusión de aire es un procedimiento expedito y práctico para corregir la falta de finos en un concreto; es más, hay un tipo de concreto llamado "sin finos", que se produce incluyendo un 20 ó 30% de aire en volumen en un concreto conteniendo solamente agregado grueso. Por supuesto que se pueden usar diferentes clases de agregado grueso en la lechada de cemento y arena, según la naturaleza de concreto que se desee y los materiales disponibles. Estos concretos con peso volumétrico de 500 a 600 Kg/m³, como mínimo, dan bajas resistencias a la compresión (de no más de 70 Kg/cm²), pero son muy manejables, repelentes al agua y resistentes a la acción de los sulfatos.

En el concreto ligero, incluyendo al concreto aislante térmico y al concreto de relleno, donde el agregado puede ser: perlita, vermiculita, espumas volcánicas y otros agregados leves, el aire incluido impide la segregación debido a la propia ligereza del agregado que tienden a aflorar en la lechada o en el mortero; y en proporción adecuada y hay un aumento en la resistencia a la compresión.

Desinclusores de aire

Quando los agregados de concreto, principalmente la arena, - arrastran o incluyen de por sí mayor cantidad de aire, para poder lograr una buena resistencia, puede hacerse necesario el - uso de algún aditivo que absorba ese exceso de aire, o ayuda a eliminarlo durante el proceso de mezclado en la revolvedora o durante el vibrado en la obra. El producto más conocido es el fosfato de tributil.

Concreto Celular

Se llama concreto celular aquel en el cual todo o parte del - agregado grueso se sustituye por burbujas de gas o de aire. - Estos dos tipos de concreto se logran por medio de aditivos, - según convenga.

El primero, se logra por medio de la adición de agentes genera- dores de hidrógeno que forman burbujas microscópicas y provo- can una expansión de la masa de concreto, propiedad que se - aprovecha generalmente para los concretos de empaque o de re- lleno. En el grupo de expansores se trata más ampliamente es- te tipo de aditivos, considerando que esa es su cualidad prin- cipal.

El segundo tipo de concreto celular se obtiene agitando rápida- mente el mortero de cemento, arena y un aditivo espumante, di- rectamente en una revolvedora especial; o bien, produciendo se- paradamente una espuma que se agrega a la lechada en la revol- vedora donde se mezcla con los agregados deseados.

La cantidad de aire que se puede incluir en los concretos de - esta especie varía de un 30 a un 60% en volumen, cuando se in- tenta aprovecharlo en usos estructurales, como tabiques diviso- rios; pero puede llegar a ocupar del 70 al 85% en el concreto

destinado a aislante térmico.

Los aditivos más generalmente usados en el concreto celular - son los sulfonatos, el sulfonato de sodio, ciertos jabones y - resinas; además en los procesos de fabricación de la espuma - por separado, se emplean aditivos parecidos a los espumantes - destinados a extinguir incendios y por último, completamente - de uso reciente es el de ciertos plásticos en estado líquido - viscoso.

Con cualquiera de estos procedimientos se pueden obtener con- cretos de muy bajo peso volumétrico de unos 40 Kg por metro cúbico cuando no tienen ningún agregado pétreo o de otra clase; de 250 Kg/m³ como mínimo, cuando tienen agregados ligeros. Por supuesto la resistencia a la compresión de estos concretos es bastante menor que los de concretos comunes. Apenas de unos - 14 Kg/cm² a 70 Kg/cm² como máximo.

Usos

Se recomienda el uso de aire incluido en el concreto por varias razones. Debe de usarse concreto con aire incluido por - la gran mejoría de resistencia donde quiera que el concreto es - té expuesto a congelamiento y deshielo o a la acción de sales usadas para deshelar y a otros medios potencialmente dañinos. Su uso también es útil donde se necesita mayor impermeabilidad. El aire incluido mejora la manejabilidad del concreto. Es particularmente efectivo en mezclas pobres que de otra manera, se - rían ásperas y difíciles de manejar. Es usual el proporcionar aire incluido en diversos tipos de concretos con agregados ligeros, incluyendo no solamente los concretos aislantes y de re - lleno, sino también en concreto ligero estructural. Los aditi - vos para concreto celular no se incluyen en este tema.

No hay consenso general en relación con las ventajas resultan-

tes sobre el uso de un aditivo inclusor de aire en la fabricación de bloque de concreto.

Sin embargo hay informes de resultados satisfactorios en la manufactura de sillares y tubos de concreto cuando se han usado aditivos inclusores de aire.

Otros materiales:

Muchos materiales son capaces de funcionar como aditivos inclusores de aire, tales como:

- a) Sales de resinas de la madera.
- b) Algunos detergentes sintéticos.
- c) Sales de lignina sulfonadas.
- d) Sales de ácido de petróleo.
- e) Sales de materiales proteícos.
- f) Acidos grasos y resinosos y sus sales.
- g) Sales orgánicas de hidrocarburos sulfonado.

Mejoría en la resistencia al hielo y deshielo:

Para conseguir la mejoría deseada en la resistencia al hielo y deshielo, el aire intencionalmente incluido debe tener ciertas características. No solamente lo importante es el volumen total de aire, sino es todavía más importante el tamaño y la distribución de los vacíos de aire que debe ser tal, que produzca una protección eficaz a la pasta de cemento. El sistema de vacíos de aire debe estar caracterizado por un gran número de vacíos pequeños, uniformemente distribuidos en la pasta de cemento.

Seguridad:

Para tener seguridad de que el aditivo inclusor de aire produce un sistema adecuado de vacíos de aire, debe de cumplir con los requisitos de ASTM-C-260.

Esta especificación marca límites en los efectos que un aditivo inclusor de aire bajo prueba puede tener en el sangrado, - tiempo de fraguado, resistencia a la compresión y a la flexión, resistencia al congelamiento y deshielo y cambio de longitud - al secarse una mezcla de concreto endurecido, en comparación - con un concreto similar conteniendo un aditivo inclusor de - aire estándar como referencia, tal como resina de vinsol neu- tralizada.

Control de adquisición:

Muchos de los aditivos inclusores de aire comerciales disponi- bles que se venden bajo diferentes marcas comerciales están en forma líquida aunque también los hay en forma de polvo escamo- so semisólidos. Los nombres comerciales y las cantidades ne- tas en kg (libras) o litros (galones), deben estar claramente indicados en los envases en que se entrega el aditivo.

El aditivo debe ser uniforme en cada mezcla y uniforme entre - diversas mezclas y embarques.

Control de Concreto

Para lograr las ventajas del aire incluido en forma consisten- te, se requiere un control relativamente estricto del conteni- do de aire del concreto. Deben hacerse pruebas a intervalos - regulares para determinar el contenido de aire en el concreto fresco a fin de tener un control rutinario durante la coloca- ción. Se deben hacer pruebas en cualquier momento cuando hay razones para sospechar que ha habido un cambio en el contenido de aire.

El contenido significativo de aire es el que está presente en el concreto colado después de la compactación. Las pérdidas de aire que ocurren debido al manejo, transporte y consolida- ción, pueden no ser reflejadas por las pruebas de contenido de

aire del concreto tomado en la mezcladora, por esta razón, el contenido de aire debe ser verificado frecuentemente en el punto de descarga en las formas.

Hay tres métodos estandar de la ASTM para medir el contenido de aire en el concreto fresco: 1. El método gravimétrico. 2. El método de presión y 3. El método volumétrico. El método más ampliamente usado es el de presión que, sin embargo puede no ser aplicable a concretos ligeros. El método volumétrico es aplicable a concretos ligeros. Se emplea una adaptación del método volumétrico usando el medidor Chace, en el cual se usa una muestra pequeña de mortero del concreto, porque es rápida y conveniente; es aplicable a todos los concretos y útil para determinar cambios súbitos del contenido de aire que pueden requerir medidas más precisas.

Los métodos mencionados para determinar el contenido de aire con mezclas frescas de concreto, solamente miden el volumen de aire y no las características de los vacíos de aire. Contenido de aire, factor de espaciamiento y otros parámetros significativos del sistema de vacíos de aire en el contenido de concreto endurecido, solamente pueden ser determinados microscópicamente por métodos tales como conteos en líneas transversales.

El uso de estos métodos en coordinación con investigaciones de proporcionamiento de concreto para proyectos nuevos proporciona gran seguridad de que el concreto será de resistencia satisfactoria al congelamiento y al deshielo. Ha sido demostrado, sin embargo, que el contenido de aire de una mezcla de concreto es generalmente indicativo de lo adecuado del sistema de vacíos de aire. Las propiedades de los materiales en cuanto a sus características para fabricar concreto, el proporcionamiento de la mezcla y todos los aspectos del mezclado, manejo y colocación deben ser mantenidos tan constantes como sea posible

para que el contenido sea uniforme y dentro de los límites especificados para el trabajo. Esta es importante principalmente porque mucho aire reduce innecesariamente la resistencia - sin una mejora conmensurable de durabilidad mientras que muy poco aire no permite lograr la trabajabilidad y durabilidad de seables.

Una inspección debe asegurar que los aditivos inclusores de aire cumplan con las especificaciones adecuadas, en tanto se pueda determinar en el campo que sean almacenados sin contaminación o deterioro, que sean dosificados con precisión y que sean introducidos a la mezcla de concreto como se especifique. Frecuentemente han ocurrido muchos problemas debido a la falla en dosificar el aditivo, ya sea por error del operador o por mal funcionamiento del equipo.

Requisitos y Métodos de Prueba

Aún cuando la inclusión de aire ofrece en algunos casos beneficios bien definidos en morteros y concretos, se reconoce que un exceso de aire incluido resulta perjudicial a su resistencia mecánica; por ello es conveniente limitarlo. Como el aire se manifiesta en la fracción mortero de las mezclas de concreto, esta limitación varía con la proporción usual de mortero - según el tamaño máximo del agregado.

Quando las especificaciones de la obra en que se proyecta usar un aditivo inductor de aire no establecen las cantidades requeridas de aire incluido en el concreto, es conveniente sujetarse a los siguientes límites:

TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO	CANTIDADES RECOMENDADAS DE AIRE INCLUIDO (EN VOLUMEN)
19.1 mm (3/4")	5.0 ± 1%
38.1 mm (1 1/2")	4.0 ± 1%
76.2 mm (3")	3.5 ± 1%
152.4 mm (6")	3.0 ± 1%

Con los materiales de la obra en que se proponga el uso del aditivo y sus características deberán ser adecuadas a la aplicación prevista.

Los ensayos de laboratorio se conducirán conforme a los métodos de prueba que se indique en cada caso y sus resultados se juzgarán de acuerdo con las limitaciones que se incluyen en estas recomendaciones.

Las pruebas a que deberán someterse un aditivo antes de su aprobación están divididas en tres etapas:

- Pruebas Selectivas
- Pruebas Normales
- Pruebas Opcionales

Pruebas Selectivas.- Serán aquellas que se conduzcan para verificar una característica básica del aditivo, relacionada con los supuestos efectos que produce. Los aditivos cuyos resultados no satisfagan los requisitos mínimos de estas pruebas serán rechazados. Los aditivos que satisfagan los requisitos mínimos estarán aptos para someterlos a las siguientes pruebas de verificación de calidad.

Pruebas Normales.- Serán aquellas pruebas considerando como normales para verificar la calidad de todos los aditivos que correspondan a una misma clase. Para ser sometidos a estas pruebas, los aditivos satisfarán previamente los requisitos -

establecidos para las pruebas de selección de la clase a que correspondan.

Pruebas Opcionales.- Se considerarán pruebas opcionales las - que a juicio de la empresa deberán adicionarse a las pruebas - normales de calidad, a finde verificar la aptitud de un aditivo para ser empleado en una obra determinada.

a) Pruebas selectivas.- Cuando un aditivo indicado como inclu- sor de aire se dosifique en la proporción recomendada por el fabricante o proveedor, tendrá que producir un incremento no menor de 1.5% en el contenido de aire de una mezcla de prue- ba comparada con una mezcla-testigo que no contenga aditivo.

Para ser comparables ambas mezclas, serán fabricadas con los mismos materiales y poseerán el mismo revenimiento con tole- rancia de ± 2 cm y el mismo consumo de cemento por m^3 de con- creto con tolerancia de ± 7.5 Kg.

Si un aditivo inclusor de aire ensayado en la proporción re- comendada, produce un incremento en el contenido de aire me- nor de 1.5% se rechazará. Si produce un incremento mayor de 1.5% pero diferente del necesario para obtener la cantidad - de aire requerida en el concreto de la obra, el laboratorio deberá determinar la proporción necesaria para alcanzar el - contenido de aire requerido con tolerancia de $\pm 0.5\%$. Esta - proporción tiene que ser las que se utilicen en las pruebas normales de calidad.

b) Pruebas normales.- Se considerarán como pruebas normales de calidad para los aditivos inclusores de aire, las de resis- tencia a la compresión, tiempo de fraguado y volumen de san- grado.

Estas determinaciones se efectuarán sobre especímenes de concreto obtenidas de una mezcla de prueba que contenga el aditivo propuesto en la proporción necesaria para producir el contenido de aire requerido en la obra, y de una mezcla-testigo que contengan resina de vinsol neutralizada en la proporción necesaria para producir el mismo contenido de aire de la mezcla de prueba, con tolerancia de $\pm 0.5\%$.

Además, para ser comparables, es importante que se fabriquen ambas mezclas con los mismos materiales y que posean el mismo revenimiento con tolerancia de ± 1 cm y el mismo consumo de cemento por m^3 de concreto, con tolerancia de ± 5 Kg. Los requisitos de calidad deberán satisfacer los especímenes obtenidos de la mezcla de prueba, en relación con los especímenes obtenidos de la mezcla-testigo son los de la tabla siguiente:

INCLUSORES DE AIRE. PRUEBAS NORMALES			
REQUISITOS	METODO DE ENSAYE	MEZCLA TESTIGO	MEZCLA DE PRUEBA
Aditivo inclusor de aire		Resina de vinsol	Aditivo ensayado
Consumo de cemento por m^3 de concreto (kg/m^3)	ASTM-C135	C_T (")	$C_T \pm 5$ Kg
Revenimiento obtenido	ASTM C143	RV_T (")	$RV_T \pm 1$ cm
Contenido de aire medido (%)	ASTM C231	A_T (")	$A_T \pm 0.5\%$
Resistencia a compresión a 28 días (kg/cm^2)	ASTM C192	R_{28T}	$0.9 R_{28T}$
Tiempo de fraguado Inicial (Hrs:min)	ASTM C403	FI_T	$FI_T \pm 1.0$
Final (Hrs:min)		FF_T	$FF_T \pm 1:3$
Volumen medido de agua de sangrado con relación al agua de mezcla %	ASTM C232	VS	$1.0 VS_T$ (Max.)

(") El consumo de cemento, revenimiento y contenido de aire de la mezcla-testigo deberá ser conforme a lo requerido en el

concreto de la obra en que se halla propuesto el aditivo inclusor de aire.

- c) Pruebas opcionales.- Se considerarán como pruebas opcionales de calidad para los aditivos inclusores de aire, las de resistencia a flexión, adherencia del concreto con el acero de refuerzo y contracción por secado.

1.2.- Dispersantes o Fluidizantes

Se define como un aditivo que al adicionarse a una mezcla de lechada, mortero o concreto producen un aumento en la fluidez de la mezcla, o bien permiten reducir el agua requerida para obtener una mezcla de consistencia determinada. A este tipo de aditivos se le conoce con el nombre de dispersantes, fluidizantes o reductores de agua. Tienen su acción exclusivamente sobre el cemento a diferencia de los inclusores de aire que la tienen sobre la arena, permitiendo exponer mayor superficie de las partículas del cemento a la hidratación.

Esta dispersión no es fácil observarla en la pasta de cemento; pero si se agrega una pequeña cantidad de cemento, por ejemplo 100 gr. a una cantidad relativamente grande de agua, un litro en una probeta graduada, se observa que las partículas de cemento enseguida se van asentando y en unos cinco a diez minutos se encuentran en el fondo del vaso. En cambio si se añade al agua un agente dispersante las partículas de cemento se dispersan espontáneamente y se mantienen en suspensión probablemente por horas, asentándose muy lentamente.

Al terminar el asentamiento, el cemento dispersado quedará en el fondo de la probeta más compactado y por lo tanto ocupando menos volumen que en el primer caso, suponiendo desde luego, que se han usado las mismas cantidades de cemento en ambas -

pruebas.

En contradicción al efecto dispersante de algunos aditivos, - los humectantes como por ejemplo, los detergentes, tienden a flocular o aglomerar las partículas como consecuencia de disminuir la tensión superficial del agua y aumentar la velocidad - de asentamiento; la masa asentada ocupará un volumen mayor, - no solamente que el del cemento dispersado sino aún del no tra tado.

La adición de un dispersante aumenta considerablemente la fluide z en forma proporcional a la cantidad empleada, que no hay - que confundir con el aumento de plasticidad, más bien característico de los agentes inclusores de aire.

Acción Físico-Química de los Dispersantes

Los dispersantes son productos químicamente diferentes de los inclusores de aire. Los granos de cemento puestos en contacto en un medio acuoso donde se ha disuelto o dispersado un plastifi cante de este tipo, se mojan mejor por el líquido, que deja por adsorción en la superficie de los granos la mayor parte del compuesto.

Se forma inmediatamente una doble capa ionizada bipolar y el - conjunto de granos muy finos y ultra-finos electrizados de la misma manera repelen mutuamente logrando la dispersión del cemento; los grumos y colonias de granos se deshacen al instante. (Fig. 4).

Durante esta fase inicial de la defloculación, las microscópi- cas burbujas de aire entre los granos de cemento se liberan de pronto y cesan de actuar en la colusión; pero no se trata del aire incluido entre los granos de arena, de que se ha tratado y que es benéfico, sino del aire más diminuto que está entre -

los granos de cemento y que mantiene la cohesión. (Fig. 5)

Los agentes dispersantes más usuales son sustancias orgánicas que tienen como base los ácidos lignosulfónicos y sus sales o modificaciones y derivados de los mismos.

El más común de estos compuestos es el lignosulfonato de calcio que se obtiene por la acción del bisulfito de calcio sobre la madera para separar la lignita de la celulosa en las fábricas de papel.

La acción del lignosulfonato de calcio sobre el cemento Portland se puede explicar según la teoría del Dr. Steope admitida y ampliada por el profesor M. Duriez, que resumimos a continuación.

Quando se introduce la macromolécula de lignosulfato en el sistema agua-cemento, esta macromolécula se adsorbe, orientando a sus radicales menos polares, sobre los gránulos de cemento y a sus radicales salinos hacia las moléculas del agua. La adsorción del lignosulfonato de calcio depende, por otra parte, de la naturaleza del cemento mismo. El aditivo manifiesta una acción más favorable con los cementos ricos en C_3S y por el contrario los cementos con mayor proporción de C_3A bloquean al aditivo, lo que hace necesario una mayor cantidad de éste para tener el mismo resultado.

Por la adsorción de las macromoléculas hidrófilas del lignosulfonato de calcio se impide la aglomeración del cemento en forma de pasta rígida por el contacto directo o inmediato de los granos activos. Además de este primer efecto, se produce un retardo de fraguado y una lubricación de los granos entre sí en tal forma que se puede disminuir el agua necesaria para la manejabilidad del concreto sin reducir la plasticidad de la pasta, ya que los granos recubiertos por una película coloidal se

deslizan perfectamente unos sobre otros (Fig. 6). La teoría de Steope, demuestra que es necesario atribuir el efecto lubricante de las partículas adsorbidas a la hidrofilia y a la solubilidad de la superficie de los granos y no precisamente al fenómeno que caracteriza a los aceites lubricantes, aunque el resultado sea el mismo.

Las películas coloidales de los granos, aíslan del contacto directo a los elementos activos del cemento (siempre dispuestos a soldarse) y constituyen una barrera a la floculación al mismo tiempo que causan un retardo en el fraguado químico, sin impedir que se produzca el fenómeno de el fraguado "thixotrópico", que no es otra cosa que la propensión de los gránulos coloidales a formar geles reticulares por la acción mecánica del mezclado, de donde obtienen su gran plasticidad. Este estado es reversible en geles coloidales después de un tiempo de reposo, dando así a los concretos y al mortero tratados con lignosulfonato de calcio, no solamente una gran manejabilidad, sino también una gran aptitud para conservar su forma durante el tiempo que transcurre entre el colado y el fraguado y no deformarse y escurrir sobre superficies inclinadas como sucedería con los productos fluidizados simplemente con agua.

Aumento de la Trabajabilidad del Concreto

Oviamente, se obtiene un concreto trabajable con el mínimo contenido de agua y en consecuencia alcanzará mayor resistencia al endurecer por haberse reducido la relación agua cemento. Por esta razón a este tipo de aditivos también se les llama, con mucha propiedad, "agentes reductores de agua". No obstante, el constructor podrá obtener tres efectos bien distintos con un dispersante, según conserve o modifique las proporciones de agua y de cemento en el conjunto total del concreto.

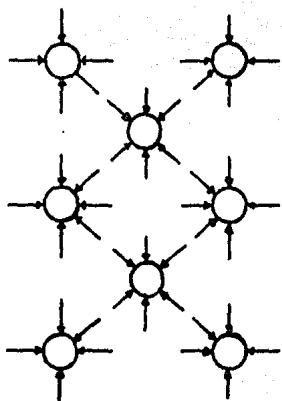


Fig. 5 El aire que mantiene la cohesión de los granos de cemento es expulsado en la primera fase de defloculación.

Fig. 4 Repelencia entre los granos de cemento por efecto de ionización superficial del mismo signo.

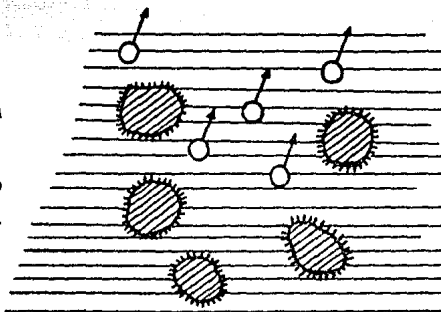
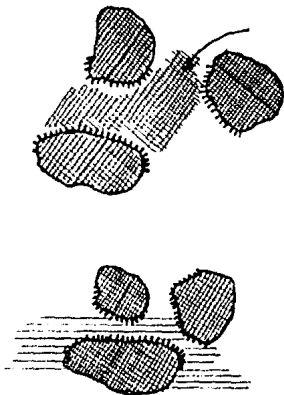


Fig. 6 La película formada alrededor de los granos de cemento evita el frotamiento directo entre ellos. Debido a la orientación de las macromoléculas adsorbidas se comporta como una capa microscópica de terciopelo.



- a) La acción del dispersante, conservando las mismas cantidades de agua y de cemento del proporcionamiento original, - produce un aumento en el revenimiento y en la fluidez, y - por ende en la manejabilidad del concreto.
- b) La adición del dispersante, reduciendo la cantidad de agua y conservando la del cemento, no aumenta el revenimiento ni la fluidez pero sí la resistencia final porque reduce la relación agua/cemento.
- c) La adición del dispersante, reduciendo la cantidad de lechada para conservar el mismo revenimiento, no mejora el revenimiento ni la fluidez, ni aumenta o disminuye la resistencia final, porque se conserva la misma relación a/c; pero - se consume menos cemento por metro cúbico de concreto.

1.3.- Los Agentes Densificadores

Forman el tercer grupo de los aditivos plastificantes, pero no son dispersantes ni inclusores de aire. Su acción tiene lugar sobre el cemento regulando la formación de los geles.

Estos aditivos son sales orgánicas del grupo de los ácidos hidroxílicos.

Carboxílicos y sus derivados, como el ácido tetrahidroxiladípico. Su efecto principal es dar mayor compacidad a la pasta de cemento y retardar el tiempo de fraguado conservando a la masa en estado plástico hasta que empieza el endurecimiento.

El componente químicamente activo de los densificadores detiene la formación de los geles en proporción directa a la cantidad de aditivo dosificado.

Estos geles, aun muy pequeños durante el manejo y colocación - del concreto fresco en su sitio retienen menos agua y por lo -

tanto se cuenta con un volumen mayor de ésta en beneficio de la trabajabilidad de la masa (Fig. 7).

Puesto que la formación de los geles se retarda, hay menor posibilidad a la floculación de los granos de cemento en el medio acuoso.

Las colonias de partículas de cemento en un concreto común, sin aditivo, dificultan la manejabilidad y tienen un efecto cementante deficiente (Fig. 8A). Con la adición de un agente densificador se obtiene una mejor distribución de los granos y un contacto más uniforme entre el cemento y los agregados y con el acero de refuerzo (Fig. 8B).

El empleo de este tipo de aditivo parece ser más controlable que el de otros plastificantes y se pueden obtener lapsos más largos de fraguado, a la vez que más fáciles de prever; en cambio, la cantidad de agua que se puede reducir en un concreto, para una misma fluidez y un mismo revenimiento no alcanza la proporción que se logra con el uso de los agentes dispersantes.

Reducción de los Cambios de Volumen

Los cambios de volumen en el concreto endurecido se deben, como ya se ha dicho, a la retracción, al calor generado durante la hidratación del cemento, y a los cambios de humedad y de temperatura que sufre el concreto ya en servicio. Como los aditivos densificadores hacen más lenta la formación de los geles y permiten una reducción en la relación agua/cemento, los geles que son todavía muy pequeños durante la colocación del concreto en su sitio adquieren un tamaño final, también un poco menos grandes durante el endurecimiento, aunque su número es muchas veces mayor que los geles normales. De ahí que se aminore la retracción del concreto al secar.

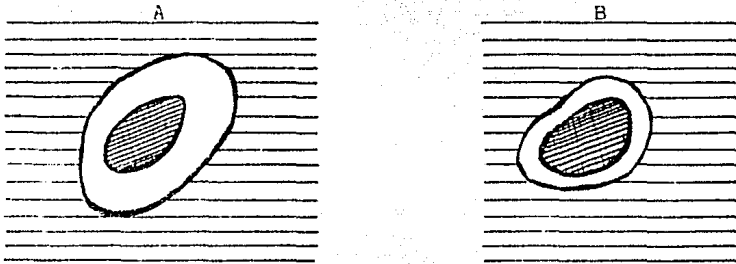


Fig. 7 Formación de los geles de cemento.

A, sin ningún aditivo.

B, con un agente densificador.

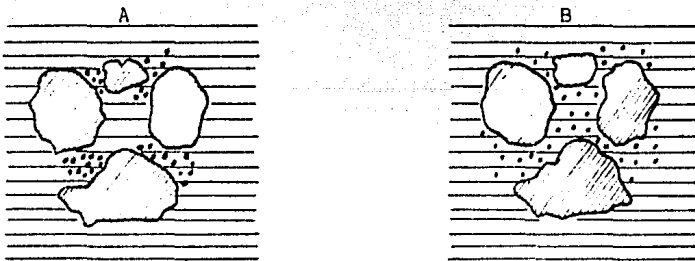


Fig. 8 A, las colonias de granos de cemento dificultan la manejabilidad y tienen un efecto cementante deficiente.

B, Con un densificador se obtiene un contacto más directo entre el cemento y los agregados.

Por otra parte, el calor de hidratación comienza cuando el concreto está aun fresco y puede deformarse. En cambio el enfriamiento se produce en el concreto endurecido, con la consiguiente disminución de volumen, lo que causa esfuerzos internos en la masa de concreto; pero como los agentes densificadores retardan la formación de los geles y su crecimiento, así como su hidratación, la generación de calor es menos intensa y más lenta, lo que permite, a su vez que una buena parte de calor se desprenda de la masa del concreto antes de que endurezca. Como consecuencia de la reducción de la relación agua-cemento y la mejor distribución de los geles, el concreto resulta más espeso o denso y el volumen de vacíos, alveolos y conductos capilares es menor, al fin del endurecimiento y secado. Por lo tanto los cambios alternativos de volumen por absorción y secado se reducen al mínimo.

1.4.- Otros Plastificantes

No todos los plastificantes son agentes reductores de agua. - Entre los plastificantes tradicionales uno de los más antiguos es la cal, que se ha venido usando para dar propiedades plásticas a los morteros de cemento y arena y aun a ciertos concretos, pero que requieren un aumento de agua. Otros de estos aditivos es la tierra diatomácea conocida en Europa con el nombre de "Kieselguhr" o sílice fósil, que también necesita mayor cantidad de agua para un mismo revenimiento.

Recientemente se ha establecido el uso de ciertos materiales finamente pulverizados, ya sea que así se encuentran en forma natural, como el "fly-ash" o cenizas volantes; o se logren intencionalmente por molienda, como ciertas arenas de sílice, las puzolanas y las bentonitas. Como estos materiales le dan simultáneamente diversas propiedades especiales al concreto hidráulico, de cemento Portland, han sido considerados en un -

grupo independiente, ya que, generalmente modifican las relaciones agua-cemento y arena-grava en forma sustancial.

Compatibilidad entre los Diversos Aditivos Plastificantes

La acción de los agentes por absorción (dispersantes y densificadores) cuando se usan simultáneamente, no se acumula porque todos ellos actúan sobre el cemento y solamente alguna vez sobre los granos muy finos de arena o de materiales muy pulverizados, formando una película que impide la acción fisicoquímica de otros productos, pero sí son compatibles con los inclusores de aire que ejercen su efecto plastificante sobre la arena, por lo que su acción conjunta es frecuentemente recomendable.

Sin embargo, el empleo de uno u otro tipo de plastificante depende de las proporciones del cemento y de arena por unidad de volumen de concreto. Los inclusores de aire son útiles para plastificar concretos en los que el mortero tiene consistencia fluida, mientras que los plastificantes por adsorción son apropiados para concretos de revenimientos muy bajos (incluyendo los concretos de revenimiento cero). La posible reducción de agua por los inclusores de aire aumenta conforme la cantidad de cemento disminuye en beneficio del contenido de arena; en cambio con los dispersantes y densificadores sucede lo contrario, de donde se explica que para determinadas proporciones normales de cemento y arena el uso combinado de ambos tipos de aditivos puede ser benéfico al concreto.

Requisitos y Métodos de Prueba

Los aditivos que aquí se denominan fluidizadores también son conocidos como reductores de agua; no obstante, se ha considerado que el término fluidizador es más general, ya que precisamente el efecto que deben producir al añadirse a una mezcla de lechada, mortero o concreto, es hacerla más fluida.

Dentro de esta categoría predominan dos tipos de materiales diferentes:

Acidos Lignosulfónicos y sus sales.

Acidos Carboxílicos Hidroxilados y sus sales.

Quando se trata de efectuar pruebas comparativas entre productos de ambos tipos, conviene tener presente que los aditivos - del primer tipo, también conocidos como lignosulfonatos, tienen tendencia a incluir aire en las mezclas de prueba. Como el aire incluido puede promover efectos fluidizantes adicionales con agregados de ciertas características granulométricas, la comparación deja de ser real si no se igualan los contenidos de aire de las diferentes mezclas.

Los especímenes obtenidos de la mezcla de prueba deberán satisfacer los requisitos de la Tabla I en relación con los especímenes obtenidos de la mezcla testigo.

TABLA I

INCLUSORES DE AIRE REQUISITOS	PRUEBAS OPCIONALES METODOS DE ENSAYE	MEZCLA- TESTIGO	MEZCLA DE PRUEBA
Resistencia a la flexión a los 28 días = (kg/cm ²)	ASTM C 192	RF _{28T}	0.9 RF _{28T} (mín.)
Adherencia con el acero a 28 días - (kg/cm ²)	ASTM C 78	AD _{28T}	0.9 AD _{28T}
Contracción por secado a 14 días (%)	ASTM C 157		
a) Si $CS_{14T} \geq 0.030\%$		CS _{14T}	1.2CS _{14T} (máx.)
b) Si $CS_{14T} < 0.030\%$		CS _{14T}	CS _{14T} + 0.006% (máx.)

Fluidizadores.- Los aditivos indicados como fluidizadores podrán ser además, inclusores o no inclusores de aire. Cuando en una obra se requiera emplear un aditivo fluidizador, se especificará también si se requiere que incluya aire o no, de acuerdo con las necesidades de la obra.

a) Pruebas Selectivas.- Se considerarán como pruebas selectivas para los aditivos fluidizantes las de inclusión de aire y reducción del agua de mezclado.

a.1) Inclusión de Aire.- Se considerarán que un aditivo fluidizador es también inductor de aire cuando al ser dosificado en la proporción recomendada por el fabricante o proveedor, produzca un incremento mayor de 1.5% en el contenido de aire de una mezcla de concreto de prueba, en comparación con una mezcla-testigo que no contenga aditivo.

Para ser comparable ambas mezclas tendrán que fabricarse con los mismos materiales y poseer el mismo revenimiento con tolerancia de ± 2 cm. y el mismo consumo de cemento por m^3 de concreto con tolerancia de ± 7.5 Kg. El contenido de aire de las mezclas se determinará conforme al método normal de prueba ASTM C 231.

Quando en la obra se requiera un aditivo fluidizador no inductor de aire, el hecho de que un aditivo propuesto produzca un incremento mayor de 1.5% en el contenido de aire de la mezcla de prueba, será motivo para no aprobarlo.

Quando en la obra se requiera un aditivo fluidizante e inductor de aire y el aditivo propuesto produzca un incremento diferente del necesario para obtener la cantidad de aire requerida, el laboratorio oficial podrá modificar la dosificación de ensaye del aditivo o bien complementar sus efectos con el uso de un agente inductor de aire aprobado. Habrá de consul-

tarse la alternativa más conveniente con el fabricante o proveedor del aditivo fluidizante. Esta alternativa deberá - - aplicarse en la mezcla de prueba en que se realicen las pruebas normales de calidad.

- a.2) Reducción de Agua.- Cuando un aditivo indicado como fluidizante se dosifique en la proporción recomendada por el fabricante o proveedor, permitirá una reducción mayor del 6% en el contenido neto de agua de mezclado, en una mezcla de concreto de prueba comparada con una mezcla testigo que no contenga el aditivo. Se requiere que, para ser comparables, se fabriquen ambas mezclas con los mismos materiales y posean el mismo revenimiento con tolerancia de ± 1 cm el mismo consumo de cemento por m^3 de concreto con tolerancia de ± 5 Kg., y el mismo contenido de aire total con tolerancia de ± 0.5 %. Cuando la diferencia en contenido de aire entre la mezcla de prueba y la mezcla-testigo resulte mayor de la tolerancia admitida, podrá incrementarse lo necesario el contenido de aire de la mezcla-testigo usando un agente inclusor de aire aprobado, de preferencia resina de vinsol neutralizada.

TABLA II

FLUIDIZADORES PRUEBAS SELECTIVAS

REQUISITOS	METODOS DE ENSAYE	MEZCLA-TESTIGO	MEZCLA DE PRUEBA
Inclusión de aire:			
a) Consumo de cemento por m ³ de concreto (kg/m ³)	ASTM C 138	C _T	C _T ± 7.5 Kg.
b) Revenimiento (cm)	ASTM C 143	RV _T	RV _T ± 2 cm.
c) Contenido de aire (%)	ASTM C 231		
Aditivos inclusores		A _T	A _T + 1.5% (mín.)
Aditivos no inclusores		A _T	A _T + 1.5% (máx.)
Reducción de agua:			
a) Consumo de cemento por m ³ de concreto (Kg/m ³)	ASTM C 138	C _T	C _T ± 5 Kg.
b) Revenimiento (cm)	ASTM C 143	RV _T	RV _T ± 1 cm.
c) Contenido de aire (%)	ASTM C 231	AT	AT ± 0.5%
d) Agua neta de mezclado (lt/m ³)	ASTM C 138	AG _T	0.94 AG _T (máx.)

Quando un aditivo fluidizador, ensayado en la proporción recomendada por el fabricante o proveedor, reduzca en menos de 6% el contenido neto de agua de mezclado en la mezcla de prueba, deberá rechazarse.

El resumen de características y requisitos de las mezclas de concreto y los métodos de ensaye por aplicarse en las pruebas selectivas de aditivos fluidizantes aparecen en la Tabla II.

- b) Pruebas Normales.- Quando un aditivo fluidizador satisfaga las pruebas selectivas, podrá considerarse adecuado para someterlo a las pruebas normales de calidad. En este caso se consideran como pruebas normales las de resistencia a compresión, tiempos de fraguado y cambio de longitud en concreto.

Estas determinaciones habrá que efectuarlas sobre especímenes de concreto obtenidos de una mezcla de prueba que contenga el aditivo fluidizador, en la alternativa ensayada para producir el contenido de aire requerido en la obra y de una mezcla testigo que contenga, si es necesario, resina de vinsol neutralizada en la proporción adecuada para producir en el mismo contenido de aire de la mezcla de prueba, con tolerancia de $\pm 0.5\%$. Además, para ser comparables, ambas mezclas deberán fabricarse con los mismos materiales y poseer el mismo revenimiento con tolerancia de ± 1 cm - así como el mismo consumo de cemento por m^3 de concreto con tolerancia ± 5 Kg.

Los requisitos de calidad que han de satisfacer los especímenes - obtenidos de la mezcla de prueba, en relación con los especímenes obtenidos de la mezcla testigo son los de la Tabla III.

TABLA III

	FLUIDIZADORES	PRUEBAS NORMALES	
REQUISITOS	METODOS DE ENSAYE	MEZCLA-TESTIGO	MEZCLA DE PRUEBA
Consumo de cemento (kg/m ³)	ASTM C 138	C _T (")	C _T ± 5 Kg.
Revenimiento (cm)	ASTM C 143	RV _T (")	RV _T ± 1 cm.
Contenido de aire (%)	ASTM C 231	A _T (")	A _T ± 0.5%
Resistencia a compresión:	ASTM C 192		
3 días (kg/cm ²)	ASTM C 99	R _{3T}	I. IR _{3T} mín.
7 días (kg/cm ²)		R _{7T}	I. IR _{7T} mín.
Tiempo de fraguado	ASTM C 403		
Fraguado inicial (hrs. mín.)		FI _T	FI _T ± 1 Hrs.
Fraguado final (hrs. mín.)		FF _T	FF _T ± 1.3 Hrs.
Contracción por secado a 14 días (%)	ASTM C 157		
Si contracción ≥ 0.030%		CS _{14T}	1.35CS _{14T}
Si contracción < 0.030%		CS _{14T}	CS _{14T} ± 0.006

(") El consumo de cemento, revenimiento y contenido de aire de la mezcla testigo será conforme a lo requerido en el concreto de la obra en que se halle propuesto el aditivo fluidizador.

- c) Pruebas Opcionales.- Se considerarán como pruebas opcionales de calidad, para los aditivos fluidizadores las de resistencia a flexión, adherencia del concreto con el acero de refuerzo y volumen de agua de sangrado.

2.- ADITIVOS QUE MODIFICAN LOS TIEMPOS DE FRAGUADO Y DE ENDURECIMIENTO

RETARDANTES

ACELERANTES

2.1.- Retardantes

Se define como aditivos retardantes a los que al adicionarse a una mezcla de lechada, mortero o concreto producen un retraso en el tiempo de fraguado de la mezcla.

Retardar el fraguado de un cemento es prolongar el período que transcurre desde que se le pone el agua hasta el principio de las reacciones químicas de hidratación, no se debe confundir - el efecto de retardar con el de hacer más lento el proceso de endurecimiento. Durante el fraguado se puede vibrar y revibrar el concreto, pero a partir de un momento muy próximo al - del comienzo de endurecimiento ya no debe tocarse al concreto, que tendrá que permanecer en absoluto reposo hasta que la hidratación del cemento llegue a un grado tal que permita al concreto presentar suficiente resistencia para soportar las cargas y esfuerzos previstos.

Como los retardadores del fraguado son especialmente útiles en la revibración del concreto es conveniente insistir en que esta práctica aumenta la compactación sin riesgo de fisuración - cuando se lleva a cabo, a veces hasta algunas horas después de haber sido colado el concreto y de haberse vibrado por primera

vez. Entre las sustancias capaces de producir un retardo en el tiempo de fraguado del concreto se puede hacer mención de - las siguientes: el azúcar, la glucosa, la glicerina, el ácido fosfórico, el acetato de calcio, el bicarbonato de sodio, diversos nitratos, el sulfato de sodio, el sulfato de aluminio, de zinc, de cobre, de hierro; los óxidos de zinc y de plomo; y algunos otros más.

Sin embargo ninguna de estas sustancias pueden usarse como aditivos retardadores.

Condiciones que deben satisfacer

Para precisar las condiciones que debe satisfacer un buen agente retardador hay que definir a éste como un producto que para un tipo dado de cemento y, para una relación agua-cemento determinada, alarga el tiempo de fraguado y el del comienzo del endurecimiento pero sin influenciar desfavorablemente el proceso ulterior del endurecimiento. Al cabo de algunos días no debe haber traza del retardo inicial y el ritmo de endurecimiento debe llevarse a cabo normalmente, sin que las resistencias finales sufran ninguna posible disminución, sino por el contrario, alcancen valores más altos. Por estas razones no debe emplearse ninguna de las sustancias primeramente enumeradas ya que todas ellas tienen influencia negativa en el endurecimiento del cemento durante su hidratación.

El azúcar.- El azúcar común es de tal manera perjudicial para el cemento que una cantidad tan pequeña como la contenida en una cuchara de mesa es capaz de impedir definitivamente el endurecimiento de todo un metro cúbico de concreto si llega a dispersarse en esa masa. La glucosa y otras sustancias de las mencionadas se usan, sin embargo, aplicadas directamente en los moldes en soluciones relativamente débiles para evitar

la adherencia de éstos al concreto; pero hay que manejarlas - con mucho cuidado para no excederse en su aplicación y provocar efectos indeseables.

Retardantes aceptados

Los aditivos retardantes, generalmente son los mismos productos que causan la dispersión del cemento, es decir, los fluidizantes y reductores de agua, como los lignosulfonatos, así como los carboxílicos, cuyo funcionamiento se ha explicado.

También ciertos carbohidratos o almidones, materiales celulósicos, ácidos orgánicos: múico y adipico y sales de los mismos, son efectivos como retardantes. El efecto retardante es solamente en la etapa de fraguado.

Generalmente, retardan tanto el momento inicial como el final, éste último a veces hasta veinticuatro horas pero otras con - ciertos productos se nota un ligero adelanto en el tiempo inicial (Fig. 9). Son muy necesarios cuando se tienen problemas de fraguados rápidos por altas temperaturas, no solamente en - los climas cálidos sino en las minas y pozos petroleros. También son indispensables en el inyectado de morteros o en concreto bombeado y donde debe contarse con una manejabilidad prolongada para tener una buena colocación o lograr un concreto - monolítico. En los últimos años ha habido una demanda creciente de retardantes que ha evolucionado la técnica de las estructuras monolíticas, como paredes de tanques, albercas o cisternas y muros de cimentación que se cuelan por franjas o zonas - eliminando las juntas frías.

También se usan donde se necesita revibrar el concreto. Generalmente se tiene una mejor hidratación y se obtienen mejores resistencias.

La acción retardante de los dispersantes y los densificadores en el tiempo de fraguado, se debe a la formación de películas sobre los gránulos de cemento no hidratados y a la adsorción del aditivo sobre los productos de hidratación del cemento mismo.

Esta adsorción se hace igualmente sobre las nuevas formaciones en forma de gel que resultan de la hidratación y de la hidrólisis de los compuestos minerales del clinker. Debido al carácter muy hidrófilo de los aditivos, hay una estabilización de los geles junto con la atracción interior ejercida por los granos de cemento en el curso de la hidratación.

Se puede tener una idea, con un ejemplo microscópico, de la acción lubricante de los geles reblandecidos y adheridos a la superficie de las partículas de cemento, observando la particularidad que tienen los granos de ciertas leguminosas como los granos húmedos de linaza que se deslizan. Esta acción de la película hidrófila es perfectamente comparable a la acción lubricante por untuosidad de moléculas grasas adsorvidas.

El efecto de retardamiento en el fraguado que causan los aditivos apropiados puede valorizarse y estudiarse en las pastas de cemento en el laboratorio por medio de las agujas de Vicat o de Gilmore que ya se han especificado; pero en el campo se usan las agujas Proctor que también se llaman "penetrometros" y son los dispositivos propios para determinar el grado de pastosidad del concreto hasta el momento de su endurecimiento inicial (Fig. 10). Para tomar la muestra y hacer la prueba, se pasa el concreto fresco por una malla de 5 mm. con objeto de eliminar el agregado grueso; de esta manera se puede observar el tiempo de fraguado del mortero teniendo en cuenta la cantidad real de agua.

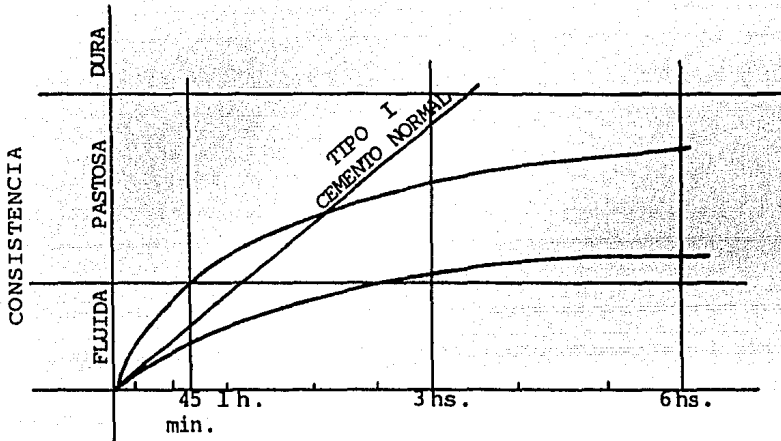


Fig. 9 Los aditivos retardantes generalmente alargan el tiempo de fluidez de la pasta de cemento y el de consistencia pastosa, con relación al fraguado normal del cemento tipo I sin aditivos. Otros productos acortan el período de fluidez, pero retardan considerablemente el principio del endurecimiento o fin del fraguado.

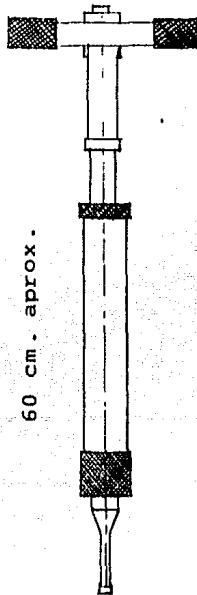


Fig. 10 El tiempo de fraguado en la obra, se determina por medio de las agujas Proctor o Penetrómetros.

Por último hay que destacar el mecanismo autoretardador de los productos de esta naturaleza: retardo debido a la capa o película que envuelve por adsorción a los granos de cemento, detiene la hidratación de éste que produce una reacción exotérmica. Por consiguiente la temperatura del cemento se eleva menos que si no tuviera retardante; y la disminución de temperatura, a su vez es causa de un retardo en el fraguado. Por lo tanto, hay una acción refleja del aditivo que da al efecto retardante su eficacia máxima.

Relación entre Plastificantes-Retardantes e Inclusores de Aire

Los plastificantes-retardantes pueden usarse en el concreto independientemente de los inclusores de aire o en combinación con ellos, generalmente con la resina de Vinsol. También hay en el mercado dispersantes-retardantes ya combinados con el agente inclusor de aire, lo que facilita en determinadas circunstancias dar las características necesarias al concreto.

Sin embargo, hay que hacer notar las diferencias entre usar un retardante simple o combinado. La dosificación del primero se aumenta según la temperatura para que la cantidad de agua y el tiempo de fraguado se mantengan los mismos y se logre una normalización en estos dos factores agua-tiempo cualesquiera que sean las condiciones del ambiente. De esta manera se obtienen concretos muy homogéneos a pesar de las variaciones de temperatura que a veces pueden ser muy notables en sólo veinticuatro horas. En cambio, del agente inclusor de aire se deben emplear dosificaciones fijas independientemente del estado frío o caliente del agua de colado o del clima.

El plastificante-retardante no tiene influencia sobre la cantidad de aire incluido, lo que permite un efecto de igual eficacia con cualquier tipo de cemento Portland y agregados con la

granulometría que se desee; y para cualquier revenimiento, sin importar la temperatura ambiente.

Materiales

Los materiales que se usan como reductores de agua o aditivos para control del fraguado o ambos son los de las siguientes - clases:

1. Sales de ácido lignosulfónicos.
2. Modificaciones y derivados o formulaciones de ácidos ligno-sulfónicos y sus sales.
3. Sales de los ácidos carboxílicos hidroxilados.
4. Modificaciones y derivados o formulaciones de ácidos carboxílicos y sus sales.
5. Otros materiales incluyendo carbohidratos, sales de zinc, - fosfatos, cloruros, aminas y sus derivados y varios polímeros hidroxilados tales como polisacáridos, algunos éteres de celulosa, algunos derivados de melamina y algunos silicónes.

Efectos de las Propiedades del Concreto

Los efectos en las propiedades del concreto de los cinco tipos de aditivos señalados a continuación: reductores de agua, retardantes, acelerantes, reductores de agua y retardantes, reductores de agua y acelerantes, pueden variar considerablemente dependiendo del tipo y los materiales usados en su composición. También pueden variar con las propiedades del cemento - Portland y otros materiales con los cuales son usados. Los efectos anotados en seguida son una guía general. Puede obtenerse información más detallada y específica con los fabricantes de aditivos; información obtenida a través de la experiencia y de estudios en laboratorios, en cuando a sus efectos ba-

jo condiciones que simulen su uso.

Velocidad de Fraguado o Endurecimiento

La velocidad de fraguado o de endurecimiento del concreto puede modificarse ya sea retardándola o acelerándola en varios grados, dependiendo del material o materiales y las cantidades relativas usadas, las propiedades del cemento y de otras condiciones de uso.

Se requiere que los aditivos tipo reductores de agua, den tiempos de fraguado inicial y final del concreto de no más de una hora antes o no más de 1½ hrs., después que el concreto de referencia sin aditivo. Se requiere que los aditivos de tipo reductores de agua y retardantes, retarden el fraguado del concreto de 1 a 3½ hrs., comparadas con el concreto de referencia.

Los tiempos de fraguado pueden variar con la temperatura ambiente, las propiedades del cemento, el tipo de aditivo, la dosificación del mismo y la mezcla del concreto.

Sangrado

Las sales de ácido carboxílicos hidroxilados originan aumento del sangrado del concreto. Los lignosulfonatos usualmente no causan un aumento de sangrado y comúnmente lo reducen. Otros tipos de materiales varían en su efecto sobre el sangrado.

Trabajabilidad

Los aditivos tipo reductores de agua, reductores de agua y retardantes y reductores de agua y acelerantes aumentan el revenimiento del concreto si se mantienen constantemente el contenido del agua de la mezcla. Para el mismo revenimiento, el concreto con un aditivo reductor de agua, usualmente tiene una

mejoría en trabajabilidad, juzgada por la facilidad de colocación, menor segregación, mejor respuesta a la vibración. Cuando se usan aditivos reductores de agua, un cambio dado en el contenido de agua, produce un mayor cambio en el revenimiento que en un concreto similar sin aditivo.

No se recomienda añadir en obra un aditivo reductor de agua al concreto mezclado en obra para tratar de recuperar la trabajabilidad perdida, por la carencia de métodos precisos para la dosificación y la improbabilidad de lograr una distribución uniforme y adecuada de aditivo en la mezcla.

Calor de Hidratación y aumento de temperatura

Quando se usan aditivos, el aumento adiabático de temperatura y el calor de hidratación del concreto se reducen para un mismo contenido de cemento. Si se reduce el contenido de cemento en el concreto, el calor liberado por unidad de volumen del concreto y el aumento de temperatura se reducen, debido a la reducción de contenido de cemento. Puede alterarse el tiempo al cual ocurre el mayor calor generado por la hidratación del cemento (con el retardo ocurre después, con la aceleración ocurre antes). Esto puede modificar ligeramente el aumento de temperatura del concreto bajo las condiciones de trabajo.

Pérdida de Revenimiento

Ciertas pruebas demuestran que la pérdida de revenimiento del concreto con estos aditivos es por lo regular ligeramente mayor que para concretos comparables sin aditivo. Sin embargo, con igual contenido de agua, el mayor revenimiento obtenido con el uso de estos aditivos puede permitir un mayor lapso de tiempo entre el mezclado y la colocación.

Resistencia

Los aditivos tipo reductores de agua y reductores de agua y - acelerantes, producen en el concreto un aumento de resistencia a todas edades. Concretos con aditivos tipo Retardantes y Reductores de agua y retardantes, de iguales contenidos de cemento, revenimiento y aire que cumplen con los requisitos de tiempo de fraguado, generalmente tienen resistencia a la compresión cuando menos igual que las de concreto comparable sin aditivo a edades de 16 a 18 a 48 hrs. A 28 días, la resistencia a compresión puede aumentar de 15 a 25%. A edades posteriores el porcentaje de aumento de resistencia es generalmente menor. Los aditivos tipos Reductores de agua y acelerantes son formulados para acelerar y por tanto los aumentos de resistencia ocurren más temprano. El aumento de resistencia con los aditivos reductores de agua es mayor que la que podría esperarse de una reducción de relación agua-cemento; o con la misma relación - agua-cemento y contenido de cemento, el concreto con aditivo - es más resistente que el concreto sin aditivo.

La resistencia a la flexión se aumenta menos que la resistencia a la compresión.

Contracción

Hay información muy contradictoria sobre el efecto de estos - aditivos en la contracción del concreto. Algunos pueden aumentar o disminuir la contracción dependiendo de su composición - química y de las características de otros materiales usados en el concreto. Usualmente, la diferencia no es grande y algunas veces menor que los mismos errores posibles de las pruebas. El método de prueba tiene una importancia decisiva en los resultados.

Durabilidad

La resistencia del concreto al congelamiento y deshielo y a la escamación es función principalmente de las características - del sistema de huecos de aire, tal como se trató en aditivos - inclusores de aire.

Alguna mejora en la resistencia al congelamiento y deshielo - más allá de la originada por la inclusión de aire puede resultar de la reducción de agua y del aumento de resistencia. Un pequeño aumento de la resistencia al efecto de aguas o suelos agresivos puede resultar de la reducción de agua, reducción de permeabilidad y aumento de resistencia.

Otras propiedades.- En general, con estos aditivos se mejora el módulo de la elasticidad y la adherencia a las varillas de refuerzo y se reduce el flujo plástico. Se considera que esto se debe a la resistencia. El aumento en la resistencia a la - abrasión y la reducción de la permeabilidad también se relacionan con la reducción del contenido de agua y aumento de resistencia. Algunos aditivos pueden contener cloruros de calcio. Se debe estudiar el efecto potencialmente corrosivo de tales - aditivos en materiales embebidos, particularmente acero preten- sado o aluminio y a la reducción de resistencia a los efectos de aguas o suelos sulfatados del concreto que contienen cloruros.

Reducción de Agua

Son muy importantes las siguientes aplicaciones de la reducción de agua:

1. Proporcionamiento de la mezcla del concreto incluyendo el - uso de menor contenido de cemento, para una resistencia da-

da y la disminución de problemas asociados con los agregados, que debido a una deficiente composición granulométrica u otras razones, originan un mayor contenido de agua.

2. Menor aumento de temperatura en concretos masivo o en grandes secciones, en razón del menor contenido de cemento.
3. Logro de los requisitos de las especificaciones de la obra, tales como máxima relación agua-cemento permisible, desarrollo temprano de resistencia y módulo de elasticidad, como - para la producción de concreto reforzado.
4. Mejoría de calidad del concreto fresco como resultante de - la mejoría de la trabajabilidad, reducción del contenido de agua para una consistencia dada o aumento de revenimiento a contenido constante de agua o aun menor.

Retardo

Son importantes las siguientes aplicaciones del retardo de fraguado:

1. Compensación de condiciones adversas de temperatura ambiente especialmente en clima caliente. Se usan ampliamente - los aditivos retardantes para permitir la colocación adecuada y el acabado, así como para contrarrestar los efectos - perjudiciales de la aceleración de temperaturas altas.
2. Control del fraguado en grandes unidades estructurales para conservar manejable el concreto durante el período completo de colocación. Esto es especialmente importante para eliminar juntas frías y discontinuidad en unidades estructurales grandes. El control de fraguado puede también evitar agrietamientos de vigas de concreto, cubiertas de puentes y construcciones compuestas, debido a flexiones de la cimbra o movimientos originados durante el colado de unidades adyacen-

tes. El ajuste de la dosificación a medida que se realiza el colado, puede permitir que diversas secciones de una undad, por ejemplo una gran viga postensada alcancen un mismo nivel de resistencia temprana aproximadamente al mismo timpo.

Proporcionamiento de Mezclas del Concreto

Las mezclas de concreto con aditivos que reduzcan la demanda - de agua, incluyan aire o que por otra razón originen un cambio en el volumen de la mezcla, deberán ser proporcionadas tomando en cuenta estos factores. Deben seguirse procedimientos descritos.

En general, los cambios en requerimientos de agua, contenido - de aire o contenido de cemento, pueden compensarse con cambios apropiados en contenido de agregado fino, conservando constante la proporción mortero-agregado grueso.

Factores que afectan el Funcionamiento

El efecto específico de los aditivos reductores de agua y para control de fraguado, varía con la composición del cemento, relación agua-cemento, temperatura ambiente, temperatura del concreto, tipo de aditivo, cantidad de aditivo usada y otros factores o condiciones de la obra.

El tipo de cemento y su diferente origen o los diferentes lotes de cemento del mismo origen, por variaciones en composición química o finura de ambas, pueden originar que se requieran diferentes cantidades de aditivo para obtener los resultados deseados. Parece que la efectividad del aditivo está muy relacionada con la cantidad de aluminio tricálcico (C_3A) y de los álcalis (Na_2O y K_2O). El contenido de anhídrido sulfúrico

(SO₃), también tiene una influencia marcada en el efecto del aditivo en el tiempo de fraguado del concreto.

Un bajo SO₃ puede producir un retardo mayor o excesivo. En algunos casos se ha observado endurecimiento temprano.

En general, la cantidad de aditivo reductor de agua que se requiere para producir los resultados deseados, variará menos con cambios en la composición de cemento u otras condiciones de la mezcla, que para los aditivos para controlar el fraguado. Estos últimos aditivos se usan para retardar o acelerar el fraguado del concreto por periodos predeterminados a una determinada temperatura.

Pequeñas variaciones de esta temperatura no requieren de un cambio en la cantidad a añadirse, pero si cambia la temperatura del concreto o si la temperatura ambiente varía más de 6° C de lo previsto, usualmente es recomendable cambiar la dosificación para mantener el retardo deseado.

Mientras más alta sea la temperatura, mayor cantidad de aditivo será necesario para producir un determinado retardo y menor cantidad para una determinada aceleración.

La efectividad de un aditivo reductor de agua varía con la relación agua-cemento de la mezcla. La experiencia demuestra que puede lograrse un aumento de revenimiento con menor aumento de contenido de agua cuando se usa un aditivo reductor de agua, que la que se requeriría de otra manera.

La adición de estos materiales a la mezcla del concreto en forma líquida es muy deseable, ya que se obtiene una distribución más uniforme en la masa de concreto dentro del tiempo empleado

en mezclar adecuadamente la mezcla de concreto. También debe tenerse cuidado cuando se usan aditivos líquidos, el evitar - añadirlos directamente al cemento o a los agregados secos de alta absorción. En cada obra debe seguirse un procedimiento y - momento fijos para la dosificación del aditivo.

El momento de añadir un aditivo retardante tiene un efecto determinante en los resultados que se obtengan. Un retardo de $\frac{1}{2}$ a 2 minutos en añadir el aditivo después que todos los materiales han sido agregados y se ha iniciado la mezcla, resultará frecuentemente en un mayor aumento en revenimiento y retardo, que por lo que se esperaría normalmente.

Almacenamiento de Aditivos

Los aditivos en forma de polvo tienen generalmente una vida in definida si se conservan secos y a temperatura adecuada. Los aditivos líquidos pueden congelarse o precipitarse a bajas temperaturas. El congelamiento puede dañar permanentemente algunos aditivos líquidos. Otros aditivos líquidos pueden congelarse y descongelarse sin dañarse.

Deben seguirse las advertencias del fabricante en cuanto al almacenamiento.

Control de Calidad

El medio más práctico para lograr calidad podrá basarse en - pruebas generales que aunque no específicas o definitivas, pueden emplearse para controlar la uniformidad del producto. Las pruebas que se seguirá para este propósito son:

1. Observación de la naturaleza física.
2. Determinación del contenido de humedad de los materiales sólidos.

3. Determinación de ph de soluciones estándar.
4. Determinación del peso específico o contenido de sólidos en aditivos líquidos.
5. Análisis de ingredientes específicos tal como porcentaje de cloruros, carbohidratos u otros componentes de interés específico.
6. Examen espectroscópico infrarrojo o ultravioleta para identificar componentes activos.

2.2.- Aditivos Aceleradores

Se define como aditivos aceleradores a los materiales que al adicionarse a una mezcla de lechada, mortero o concreto producen un adelanto en el tiempo de fraguado y/o aceleran la adquisición de resistencia de la mezcla en sus primeras edades.

Un aditivo acelerante es un material que se añade al concreto con el fin de reducir el tiempo de fraguado y acelerar el desarrollo temprano de resistencia del concreto.

El acelerante más conocido y ampliamente usado es el cloruro de calcio.

Se han encontrado otros muchos materiales que aceleran la velocidad de desarrollo de resistencia del concreto pero, en general, son usados rara vez y existe poca información en relación con sus efectos en las propiedades del concreto. La mayor parte de la información disponible sobre acelerantes se refiere principalmente al uso de cloruro de calcio. Hay otros productos químicos que aceleran la velocidad de endurecimiento del concreto tales como algunos cloruros solubles, carbonatos solu

bles, silicatos, fluosilicatos, hidróxidos alcalinos y algunos compuestos orgánicos tales como la trietanolamina.

Consideraciones para su uso

Los aditivos acelerantes son útiles para modificar las propiedades del concreto hecho con cemento portland, particularmente en climas fríos para:

1. Expeditar la iniciación de operaciones de acabado y cuando se requiera la aplicación de aislamiento protector.
2. Para reducir el tiempo requerido para el curado adecuado y la protección.
3. Para aumentar la velocidad de desarrollo de resistencia de tal manera que permita quitar la cimbra o poner la construcción en servicio más rápidamente.
4. Permitir un taponamiento eficiente de filtraciones contra presiones hidráulicas.

El uso de acelerantes en concreto en climas fríos para contrarrestar los efectos de la baja temperatura, usualmente no es suficiente para producir concreto en climas fríos. Las recomendaciones usualmente incluyen la de calentar los ingredientes, proporcionar aislamiento y aplicación de calor externo.

Los acelerantes deben ser usados con cuidado en climas cálidos. Algunos efectos perjudiciales pueden resultar de una evolución sumamente rápida del calor de hidratación, fraguado rápido y grietas de contracción.

Los acelerantes nunca deben ser usados como agentes anticongelantes para el concreto. En las cantidades normalmente usa-

das, el punto de congelamiento del concreto baja solamente la cantidad de 2° C. No se conocen materiales que bajen apreciablemente el punto de congelamiento del agua en el concreto y - que no sean perjudiciales al concreto en otros aspectos.

Acelerantes de Endurecimiento

En este grupo se cuentan los acelerantes de endurecimiento que se combinan químicamente con el cemento durante la hidratación del mismo, y los estabilizadores que solamente con su presencia facilitan y apresuran la hidratación.

Un acelerante es un aditivo, con el que se logra que el concreto alcance altas resistencias a edades tempranas, es decir, mucho antes de las que alcanzaría normalmente sin el uso del acelerante, el cual toma parte en la reacción química entre el cemento y el agua y por lo tanto se consume. También se obtienen resultados semejantes con productos que actúan solamente - como catalizadores o sea que promueven la reacción química sin alterarse o consumirse ellos mismos. Los productos químicos - que reaccionan adelantando la resistencia de la pasta de cemento Portland y agua, comprenden a ciertos cloruros solubles como el calcio y el sodio; además algunos carbonatos, silicatos, fluosilicatos e hidróxidos. Entre los catalizadores el más conocido es la trietanol-amina en combinación con otras sustancias.

También hay que mencionar al proceso de "inseminación" del concreto fresco con cemento Portland hidratado molido finamente - con lo cual se acelera la cristalización de los geles del cemento. El cemento hidratado no es desde luego, un componente del concreto, sino un aditivo cuyas partículas constituyen, en el concreto, durante el fraguado, los "gérmenes de cristalización", como se les denomina en Francia, o "semillas" como se -

les designa en los EE. UU. Sin embargo, el proceso de inseminación más bien se provoca por el revibrado o apisonado del cemento después de haberse iniciado el fraguado, pero antes de que comience el endurecimiento.

Los gérmenes de cristalización se pueden controlar más fácilmente si se agregan al cemento en la fábrica, y no en la obra, pues deben satisfacer estrictas condiciones referentes al tipo de cemento y finura de la molienda.

Estos gérmenes o semillas también se usan activados con cloruro de calcio, con lo que se han llegado a tener resultados sorprendentes. Su empleo, no obstante, se halla limitado, actualmente, sólo a determinadas fábricas de cemento o fábricas de productos precolados de concreto.

El Cloruro de Calcio

Por lo que toca a los aditivos acelerantes, el más usado en los Estados Unidos, América Latina y Europa, es el cloruro de calcio. La "American Society of Testing and Materials" en sus especificaciones relativas para el cloruro de calcio ASTM D 98 establece principios muy importantes que deben ser tomados en cuenta, tanto por el fabricante de aditivos como por el consumidor.

Este producto se obtiene generalmente en forma de escamas. Se puede usar en proporciones hasta del 2% del cemento, en peso, con lo que se logra obtener incrementos de 40 a 90% en la resistencia, en las primeras veinticuatro horas de endurecimiento, y de 30% en la resistencia de concretos a los tres días. La curva de crecimiento del incremento de resistencia alcanza su máximo a los tres días y luego disminuye, aunque al cabo de un año aún se nota algún ligero incremento. Cuando se adicio-

na en una mayor dosificación no se logra ninguna mejoría adicional de importancia en el proceso de aceleración y en cambio se obtienen consecuencias indeseables.

El cloruro de calcio, en sal anhidra, reacciona con los aluminatos del cemento y dá lugar al cloro-aluminato de calcio, que se precipita en forma microcristalina. Por ciertos procesos - bastante complejos favorece las difusiones y acelera en esa forma el endurecimiento con muy poco efecto en el fraguado propiamente dicho. Los efectos acelerantes del cloruro de calcio son más notables conforme aumenta la temperatura; y como su reacción es francamente exotérmica, se utiliza con mucha eficacia en la manufactura de concreto en las bajas temperaturas invernales.

El cloruro de calcio casi no tiene de por sí, ningún efecto químico en la aceleración o acortamiento del tiempo de fraguado; pero cuando se añade a la mezcla en polvo o recientemente disuelto, se produce esta aceleración debido al aumento de temperatura del agua, por la reacción exotérmica del Ca Cl_2 al hidratarse, que puede llegar a la ebullición; y a veces el concreto adquiere el estado pastoso aún dentro de la misma revolvedora. Por esta razón debe usarse siempre en solución preparada con suficiente anticipación, siguiendo las indicaciones del fabricante.

Este producto es más eficaz y el más usado, aunque puede tener efectos negativos. Estos pueden desprejarse si son de pequeña magnitud, pero también pueden llegar a ser serios inconvenientes de graves consecuencias.

Generalmente, aunque no siempre, aumenta la "retracción del concreto" al secarse. Además la evolución en la generación del calor de hidratación durante las primeras edades del con-

creto también aumenta y por consecuencia es mayor la disminución de volumen de éste al enfriarse.

Otro de los inconvenientes del cloruro de calcio es que favorece a la expansión causada por la reacción alcalina de los agregados y disminuye la resistencia del concreto a la acción corrosiva de los sulfatos, no obstante que protege mejor al concreto contra la intemperie, principalmente durante los primeros días del endurecimiento, incluyendo los procesos de congelación y deshielo.

En el fierro de refuerzo usual, en un concreto no preesforzado, no se ha notado que el cloruro de calcio tenga efectos corrosivos, en dosis menores del 2% pero no debe usarse en el concreto preesforzado por la posible corrosión del fierro previamente tensado. Por último, en concretos reforzados normales en los que estén embebidos conductos de aluminio o metales galvanizados, no debe intervenir el CaCl_2 porque se forman pequeños circuitos eléctricos que ocasionan o agravan la corrosión de esos metales y del fierro.

Catalizadores

El catalizador más común es la tri-etanol-amina que actúa en forma diferente con cementos de distintos tipos y marcas. Parece que es más efectivo con los cementos de alto contenido de C_3A ; pero su acción siempre es menos eficaz como acelerante que el CaCl_2 .

Tiene, en cambio, la ventaja de que no provoca ninguna corrosión en el fierro de refuerzo y puede ser usado sin ningún riesgo en el concreto preesforzado y en las otras circunstancias en que no puede emplearse el cloruro de calcio. También tiene la ventaja sobre este último, de que los incrementos ob-

tenidos en la resistencia a edades tempranas, se mantienen hasta avanzadas edades del concreto.

Acelerantes de Fraguado

Estos aditivos llamados también "acelerantes ultrarrápidos" o "selladores", se emplean para provocar un fraguado rapidísimo de la pasta de cemento y agua o del mortero de cemento, con el fin de tapar fugas de agua, algunas grietas, orificios y parches pequeños. Son generalmente líquidos preparados para adicionarse directamente al polvo de cemento o al mortero seco de cemento y arena, y el cual se endurece en unos quince a treinta segundos, desde el momento en que entra en contacto con el sellador.

Diluido en agua y variando las proporciones, puede graduarse la velocidad del fraguado según se desee. También hay acelerantes instantáneos en polvo con los cuales se pueden preparar mezclas en seco, con cementos y arena que son prácticos para ciertos trabajos en pequeña escala, pero difíciles de conservar por mucho tiempo.

Compatibilidad de los Aditivos Acelerantes de Endurecimiento con los Retardantes

Como se ha dicho en relación con los retardantes, la modificación del tiempo de fraguado no tiene necesariamente relación con el endurecimiento del concreto. Un acelerante, con el cual se logran resistencias más altas a edades tempranas de endurecimiento no tiene forzosamente que modificar el fraguado. Se puede, pues, usar un retardante de fraguado para lograr los efectos de que se ha hablado en su oportunidad y simultáneamente conseguir, por medio de un acelerante, el endurecimiento correspondiente. La combinación de ambos aditivos no es extra-

ño, con mucha frecuencia se usan en el mismo concreto y generalmente se obtienen las características deseadas en el concreto.

Naturalmente que deben hacerse pruebas de laboratorio y aun - algunas experiencias prácticas para determinar las debidas proporciones de los aditivos en juego, pero se pueden esperar resultados satisfactorios.

Compatibilidad de los acelerantes con los diversos aditivos - plastificantes. También como en el caso de los retardantes, - con los acelerantes se pueden hacer algunas combinaciones con otros tipos de aditivos para obtener distintos efectos en el - concreto, ya que generalmente son compatibles con la mayor parte de ellos. Por ejemplo, con los dispersantes se logra una combinación muy satisfactoria porque al reducir la razón agua / cemento se obtienen altas resistencias, no sólo a los - tres y siete días, sino también a los catorce y veintiocho - días, las cuales se mantienen superiores a las del concreto no tratado, aun por más de un año y además se compensa la retracción, por el hecho de emplear menos agua para un mismo revenimiento.

También se combinan con los inclusores de aire y con algunos - otros productos, pero generalmente no se deben mezclar antes - de añadirse al concreto, sino que deben adicionarse separadamente. No obstante, existen ya en el mercado aditivos de determinadas marcas, en las cuales interviene el cloruro de calcio.

Actualmente se pueden usar con toda confianza, siempre que procedan de una fábrica de reconocida seriedad.

Los acelerantes del tipo del cloruro de calcio duplican su eficiencia, cuando se les emplea en combinación con el ligno-sulfonato de calcio o de sodio, lo que permite usar menores proporciones del primero para obtener el mismo efecto acelerante y por lo tanto tiene menos probabilidad de producir efectos colaterales nocivos. Es aconsejable que los acelerantes se usen con cementos normales tipo I, pero no hay inconveniente para que se usen en concretos manufacturados con cemento de resistencia rápida tipo III. En este caso se logra una aceleración mucho mayor y resistencias finales más altas pero, como es de suponerse, las reacciones generan una fuerte cantidad de calor, que como es sabido, a su vez ocasiona una gran disminución de volumen al bajar el concreto a la temperatura ambiente.

Aplicaciones en los Productos Precolados

Además de las que el constructor puede derivar de las propiedades fundamentalmente de los acelerantes para obtener altas resistencias en el concreto a edades tempranas, reducir el período de curado y compensar el retraso de endurecimiento en tiempo frío, el uso de los acelerantes es muy útil en la fabricación de productos de concreto precolado como bloques, pilotes y tubos, porque permite manejarlos y transportarlos poco tiempo después de fabricados.

El empleo de acelerantes no interfiere sino que ayuda a obtener ventajas substanciales, simultáneamente a los procesos de curado con vapor o agua caliente.

Efecto en Concreto Fresco y Concreto Endurecido

Los efectos de los acelerantes en algunas propiedades del concreto son como sigue:

1. Tiempo de Fraguado.- El tiempo de fraguado inicial y final se reduce. El monto de la reducción varía con la cantidad de acelerante usado, la temperatura del concreto y la temperatura ambiente.
2. Inclusión de Aire.- Se requiere menos aditivo inductor de aire para producir la cantidad requerida de aire incluido. Sin embargo, en algunos casos se obtienen burbujas de mayor tamaño y con mayor espaciamiento.
3. Calor de Hidratación.- Se obtiene un desarrollo de calor - más temprano, pero sin efecto apreciable en la cantidad total de calor de hidratación.
4. Resistencia.- Se aumenta notablemente la resistencia a la compresión a edades tempranas. La resistencia final puede reducirse ligeramente. El aumento en resistencia a la flexión usualmente es menor que el de resistencia a la compresión.
5. Cambios de Volumen.- Generalmente se considera que los cambios de volumen aumentan en concretos ya sean curados en húmedo o dejado secar. Hay dudas sobre el monto del efecto - causado por los acelerantes en oposición de otros factores que tienen influencia en los cambios de volumen.
6. Durabilidad.- La resistencia al congelamiento y al deshielo y la escamación, causados por el uso de sales para deshelar aumentan a edades tempranas, pero puede que disminuya a edades posteriores.
7. Resistencia a los Sulfatos.- La resistencia al ataque de sulfatos se disminuye.

8. Reacción álcali-agregados.- Es mayor la expansión producida por la reacción álcali-agregados. Esto puede ser fácilmente controlado por el uso de cemento de bajo contenido de álcali o por puzolanas.
9. Corrosión en los Metales.- No debe usarse cloruro de calcio cuando se va a utilizar curado por vapor a menos de que pruebas de uso específico demuestren que no hay corrosión -objetable. la corrosión intensa de la lámina de acero galvanizado en la cimbra, puede ser atribuida al uso del cloruro de calcio.

El uso de cloruro de calcio en las cantidades recomendables no causa corrosión progresiva del acero de refuerzo usual en concreto reforzado típico bajo condiciones normales donde las varillas tienen suficiente recubrimiento de concreto. Cuando es usado adecuadamente, el cloruro estañoso actúa como un acelerante, y no causa corrosión del acero aún cuando se usen sistemas de curado por vapor.

Valuación y Selección

La decisión de cuando usar o no un acelerante es usualmente - una decisión económica. Frecuentemente se obtienen los mismos resultados por otros procedimientos, tales como:

- a) El uso de un cemento de tipo III.
- b) El uso de cantidad adicional de cemento
- c) El uso de procedimientos de curados y protección más largos o diferentes
- d) Una combinación de éstos.

En muchos casos el uso de un acelerante es lo más económico y el método más conveniente para obtener los resultados deseados.

Requisitos y Pruebas

En esta categoría de aditivos se han agrupado productos que - frecuentemente se clasifican separados, según sea su efecto - adelantar o retrasar el endurecimiento de las mezclas de lechada, mortero o concreto.

Agrupando en el término "endurecimiento" los procesos de fraguado y de adquisición de resistencia mecánica debe considerar una diferencia fundamental al calificar el comportamiento de - los aditivos que adelantan o retrasan el endurecimiento. En - los aditivos que adelantan el endurecimiento o aceleradores, - es deseable y conveniente que, además, de acelerar el fraguado, aceleran también el proceso de adquisición de resistencia mecánica.

En los aditivos que retrasan el endurecimiento, o retardadores, solamente es deseable y conveniente que retarden el fraguado. Es decir, que a partir de la obtención del fraguado final, el proceso de adquisición de resistencia mecánica no sufra ningún retraso en comparación con una mezcla semejante, fabricada sin aditivo. Para los aditivos fluidizadores las pruebas opcionales serán las de resistencia a flexión, adherencia del concreto con el acero de refuerzo y volumen de agua de sangrado.

Los especímenes obtenidos de la mezcla de prueba deberán satisfacer los requisitos de la Tabla I al comparar sus resultados con los obtenidos en los especímenes de la mezcla testigo.

TABLA I

FLUIDIZADORES PRUEBAS OPCIONALES

REQUISITOS	METODO DE ENSAYE	MEZCLA-TESTIGO	MEZCLA DE PRUEBA
Resistencia a Flexión	ASTM C 192		
3 días (kg/cm ²)	ASTM C 78	RF _{3T}	1.0 RF _{3T} (mín)
7 días (kg/cm ²)		RF _{7T}	1.0 RF _{7T} (mín)
8 días (kg/cm ²)		RF _{28T}	1.0 RF _{28T} (mín)
Adherencia con el acero de refuerzo:	ASTM C 234		
28 días (kg/cm ²)		AD _{28T}	1.0 AD _{28T} (mín)
Volumen de agua de san-grado con relación de la mezcla (%)	ASTM C 232	VS _T	1.0 VS _T (máx)

a) Pruebas Selectivas.- Para los aditivos retardadores y aceleradores se considerarán como pruebas selectivas las de inclusión de aire y tiempo de fraguado. Para los aditivos re-tardadores y aceleradores que además sean fluidizadores, se considerarán también como pruebas selectivas la de reduc-ción de agua de mezclado.

1. Inclusión de aire. Se considerará que un aditivo indicado como modificador del endurecimiento es también inclu-sor de aire cuando al ser dosificado en la proporción re-comendada por el fabricante o proveedor, produzca un in-cremento mayor de 1.5% en el contenido de aire de una -mezcla de concreto de prueba, en comparación con una mezcla-testigo que no tenga aditivo.

Para ser comparables, ambas mezclas serán fabricadas con los mismos materiales y poseerán el mismo revenimiento - con tolerancia de ± 2 cm y el mismo consumo de cemento - por m^3 de concreto con tolerancia de ± 7.5 kg.

Quando en la obra se requiera un aditivo modificador del endurecimiento no inclusor de aire, el hecho de que un - aditivo propuesto produzca un incremento mayor de 1.5% - en el contenido de aire medido en la mezcla de prueba, - será motivo para no aprobarlo.

2. Tiempos de fraguado. Quando un aditivo indicado como modificador del endurecimiento se dosifique en la proporción recomendada por el fabricante o proveedor, deberá - permitir retrasar o acelerar el fraguado del concreto, - según el caso, dentro de los límites establecidos en la Tabla II.

Los tiempos de fraguado deberán medirse simultáneamente en una mezcla-testigo y en una mezcla de pruebas con el aditivo que se fabricarán con los mismos materiales y poseerán el mismo revenimiento con tolerancia de ± 1 cm con el mismo consumo de cemento por m^3 de concreto con tolerancia de ± 5 kg y el mismo contenido de aire total con tolerancia de $+ 0.5\%$. Cuando la diferencia en contenido de aire entre la mezcla de prueba y la mezcla testigo resulte mayor de la tolerancia admitida, podrá incrementarse lo necesario el contenido de aire de la mezcla-testigo usando un agente inclusor de aire aprobado, de preferencia resina de vinsol neutralizada.

3. Reducción de agua. Cuando un aditivo indicado como modificador del endurecimiento y fluidizador se dosifique en la proporción recomendada por el fabricante o proveedor, deberá permitir obtener una reducción mayor de 6% en el contenido de agua neta de mezclado correspondiente a una mezcla de concreto de prueba comparada con una mezcla-testigo que no contenga el aditivo.

Para ser comparables, conviene que ambas mezclas se fabriquen con los mismos materiales y que posean el mismo revenimiento con tolerancia de ± 1 cm, el mismo consumo de cemento por m^3 de concreto con tolerancia de ± 5 kg, y el mismo contenido de aire total con tolerancia de $+0.5\%$. Cuando la diferencia en contenido de aire entre la mezcla de prueba y la mezcla-testigo resulte mayor de la tolerancia admitida, se incrementará al contenido de aire de la mezcla-testigo lo necesario, con el empleo de un agente inclusor de aire aprobado, de preferencia resina de vinsol neutralizada.

Quando un aditivo modificador del endurecimiento y fluidizador, ensayado en la proporción recomendada por el fabricante o proveedor, reduzca en menos de 6% el contenido de agua neta de mezclado en la mezcla de prueba, no podrá aprobarse.

A continuación se presenta una tabla con el resumen de requisitos para las pruebas selectivas de los aditivos modificadores del endurecimiento.

TABLA II

MODIFICADORES DEL ENDURECIMIENTO. PRUEBAS SELECTIVAS:

REQUISITOS	METODO DE ENSAYE	MEZCLA-TESTIGO	MEZCLA DE PRUEBA
Retardadores			
1) Contenido de aire (%)	ASTM C 231		
Aditivos Inclusiones		A_T	$A_T + 1.5\%$ (mín)
Aditivos no inclusiones		A_T	$A_T + 1.5\%$ (máx)
2) Tiempos de fraguado	ASTM C 403		$FI_T + 1.0$ (mín)
Fraguado inicial		FI_T	$FI_T + 4.0$ (máx)
Fraguado final		FF_T	$FF_T + 3.0$ (máx)
3) Reducción de agua (para aditivos retardadores y fluidizadores):			
Agua neta de mezclado (lts/m ³)	ASTM C 133	AG_T	$0.94 AG_T$ (máx)
Aceleradores			
1) Contenido de aire (%)	ASTM C 231		
Aditivos inclusiones		A_T	$A_T + 1.5\%$ (mín)
Aditivos no inclusiones		A_T	$A_T + 1.5\%$ (máx)
2) Tiempos de fraguado	ASTM C 403		$FI_T - 1.0$ (mín)
Fraguado inicial		FI_T	$FI_T - 3.0$ (máx)
Fraguado final		FF_T	$FF_T - 1.0$ (mín)
3) Reducción de agua (para aditivos aceleradores y fluidizadores):			
Agua neta de mezclado (lts/m ³)	ASTM C 138	AG_T	$0.94 AG_T$ (máx)

- b) Pruebas Normales.- Cuando un aditivo modificador del endurecimiento satisfaga los requisitos de las pruebas selectivas que le correspondan se considerará adecuado para someterlo a las pruebas normales de calidad que en este caso son las de resistencia a compresión, contracción por secado y volumen de agua de sangrado.

Estas determinaciones se efectuarán sobre especímenes de concreto obtenidos de una mezcla de prueba que contenga el aditivo modificador del endurecimiento y de una mezcla-testigo que no contenga dicho aditivo. Ambas mezclas deberán fabricarse con los mismos materiales y poseerán el mismo revenimiento con tolerancia de ± 1 cm, el mismo consumo de cemento por m^3 de concreto con tolerancia de ± 5 Kg, y el mismo contenido de aire total con tolerancia de 0.5%.

Este contenido de aire será el adecuado para las condiciones de la obra en que se requiera aplicar el aditivo. Si el aditivo ensayado no produce la suficiente cantidad de aire, al ensayarlo en la dosificación propuesta por el fabricante o proveedor, habrá de completarse con el uso de un agente inclusor de aire aprobado. Para obtener la misma cantidad de aire en la mezcla-testigo, dentro de la tolerancia permitida deberá usarse el mismo agente inclusor de aire en la proporción adecuada.

Los requisitos que deben satisfacer los especímenes obtenidos en la mezcla de prueba, en relación con los obtenidos en la mezcla testigo, se consignan en la Tabla III.

TABLA III

MODIFICADORES DEL ENDURECIMIENTO PRUEBAS NORMALES

REQUISITOS	MÉTODOS DE ENSAYE	MEZCLA-TESTIGO	MEZCLA DE PRUEBA
Retardadores	ASTM C 192		
1) Resistencia a compresión	ASTM C 39		
3 días (kg/cm ²)		R ₃ T	0.9R ₃ T (mín)
7 días (kg/cm ²)		R ₇ T	0.9R ₇ T (mín)
28 días (kg/cm ²)		R ₂₈ T	0.9R ₂₈ T (mín)
2) Contracción a 14 días:	ASTM C 157		
Si contracc. ≥ 0.30%		CS ₁₄ T	1.35CS ₁₄ T (máx)
Si contracc. < 0.30%		CS ₁₄ T	CS ₁₄ T + 0.006 (máx)
3) Agua de sangrado (%)	ASTM C 232	VS _T	105 VS _T (máx)
Retardadores y Fluidizadores			
1) Resistencia a compresión	ASTM C 192		
3 días (kg/cm ²)	ASTM C 39	R ₃ T	1.0R ₃ T (mín)
7 días (kg/cm ²)		R ₇ T	1.1R ₇ T (mín)
28 días (kg/cm ²)		R ₂₈ T	1.1R ₂₈ T (mín)
2) Contracción a 14 días	ASTM C 157		
Si contracc. ≥ 0.030%		CS ₁₄ T	1.35CS ₁₄ T (máx)
Si contracc. < 0.030%		CS ₁₄ T	CS ₁₄ T + 0.006 (máx)
3) Agua de sangrado (%)	ASTM C 232	VS _T	105 VS _T (máx)
Aceleradores			
1) Resistencia a compresión	ASTM C 192		
3 días (kg/cm ²)	ASTM C 39	R ₃ T	1.25R ₃ T (mín)
7 días (kg/cm ²)		R ₇ T	1.00R ₇ T (mín)
28 días (kg/cm ²)		R ₂₈ T	1.00R ₂₈ T (mín)

(continuación Tabla III)

REQUISITOS	METODOS DE ENSAYE	MEZCLA-TESTIGO	MEZCLA DE PRUEBA
2) Contracción 14 días	ASTM C 157		
Si contracc. $\geq 0.030\%$		CS _{14T}	1.35CS _{14T} (máx)
Si contracc. $< 0.030\%$		CS _{14T}	CS _{14T} +0.006 (máx)
3) Agua de sangrado (%)	ASTM C 232	VS _T	100 VS _T (máx)
Aceleradores y Fluidizadores			
1) Resistencia a compresión	ASTM C 192		
3 días (kg/cm ²)	ASTM C 39	R _{3T}	1.25R _{3T} (mín)
7 días (kg/cm ²)		R _{7T}	1.10R _{7T} (mín)
28 días (kg/cm ²)		R _{28T}	1.10R _{28T} (mín)
2) Contracc. a 14 días:	ASTM C 157		
Si contracc. $\geq 0.030\%$		CS _{14T}	1.35 CS _{14T} (máx)
Si contracc. $> 0.030\%$		CS _{14T}	CS _{14T} +0.006 (máx)
3) Agua de sangrado (%)	ASTM C 232	VS _T	100 VS _T (máx)

- c) Pruebas Opcionales.- Se considerarán como pruebas opcionales de calidad para los aditivos modificadores del fraguado, las de resistencia a flexión y adherencia del concreto con el acero de refuerzo.

Quando a juicio de la comisión, una o ambas características sean decisivas en la calificación de los efectos de un aditivo modificador del fraguado sobre las propiedades del concreto de una obra determinada, tendrán que fabricarse - especímenes adicionales para medirlas, a partir de la mezcla-testigo y de la mezcla de prueba elaboradas con motivo de las pruebas normales.

Los especímenes obtenidos de la mezcla de prueba satisfarán los requisitos de la Tabla IV al comparar sus resultados - con los obtenidos en los especímenes de la mezcla-testigo.

TABLA IV
MODIFICADORES DEL ENDURECIMIENTO. PRUEBAS OPCIONALES

REQUISITOS	MÉTODOS DE ENSAYE	MEZCLA-TESTIGO	MEZCLA DE PRUEBA
Retardadores			
1) Resistencia a flexión	ASTM C 192		
3 días (kg/cm ²)	ASTM C 78	RF _{3T}	0.9RF _{3T} (mín)
7 días (kg/cm ²)		RF _{7T}	0.9RF _{7T} (mín)
28 días (kg/cm ²)		R _{28T}	0.9RF _{28T} (mín)

3.- IMPERMEABILIZANTES INTEGRALES

Repelentes a la absorción capilar

Reductores de permeabilidad

Algunas presas de concreto, muros de contención, tanques y - otras estructuras muestran signos de filtración. Usualmente, tal filtración es resultado de mala producción y mala colocación del concreto o deberse a grietas en la estructura. Cuando la mezcla del concreto ha sido diseñada adecuadamente, es - usada y colocada con muy buena mano de obra, bajo inspección - competente, el concreto en una estructura debe ser virtualmente impermeable, aunque puede existir alguna fuga a través de grietas.

El término "a prueba de humedad" implica evitar la penetración de agua en el concreto seco, evitar el paso del agua a través de concreto no saturado.

Sin embargo, no se han encontrado aditivos que produzcan tales efectos: el término ha venido a significar una reducción en la velocidad de penetración del agua en el concreto seco o en la velocidad de paso del agua a través del concreto no saturado - del lado húmedo al seco.

Un aditivo anunciado para dar resistencia al paso de humedad - puede tener algún efecto benéfico en las propiedades del concreto fresco no directamente indicadas por el nombre. Por - ejemplo, puede lograr una inclusión de aire y por tanto se considera como aditivo inclusor de aire. Esta sección trata los aspectos directamente relacionados con el término "a prueba de humedad". Eso implica un efecto en las propiedades del concreto endurecido aparte de cualquier otro efecto que el aditivo - pueda tener en el concreto fresco. Esta discusión por tanto,

trata de los posibles efectos de tales agentes en las propiedades del concreto endurecido.

Materiales

Los aditivos para hacer el concreto "a prueba de humedad" incluyen jabones, estearato de butilo y ciertos derivados del petróleo.

1. Los jabones incluyen sales de ácido grasos, usualmente estearatos u oleatos de calcio o de amonio. El contenido de jabón es usualmente 20% o menos y lo restante cloruro de calcio o cal. La cantidad total de jabón añadido no debe exceder del 0.2% por peso del cemento. Los jabones originan inclusión de aire durante el mezclado.
2. El estearato de butilo tiene un efecto similar al del jabón en cuanto a que da un efecto repelente al agua pero no incluye aire. Se añade en forma de emulsión en la cual el estearato es el 1% del peso del cemento. Algunos informes indican que proporcionan mejores resultados que el jabón como repelente de agua; además, el efecto en la resistencia es prácticamente nulo.
3. Entre los derivados del petróleo están los aceites minerales, emulsiones asfálticas y ciertos asfaltos rebajados. Los aceites minerales pesados tienen la cualidad de hacer al concreto repelente al agua, y reducir la impermeabilidad. El aceite mineral usado debe ser un derivado fluido de petróleo con viscosidad SAE 60, y sin aceites grasos o vegetales.

Quando el aceite se añade a razón del 5% del peso del cemento es ligeramente perjudicial en la resistencia del concreto.

to, se ha determinado que es efectivo bajo presión.

4. Algunas veces puede disponerse de un grupo de productos misceláneos. Todos ellos tienen efecto perjudicial en la resistencia del concreto y ninguno es realmente útil para dar resistencia al paso de humedad.

Ellos son:

- a) Sulfato de bario y silicatos de calcio o magnesio.
- b) Sílice finamente dividido y naftaleno.
- c) Sílice coloidal y fluosilicato.
- d) Jalea de petróleo y cal.
- e) Materiales de celulosa y parafina.
- f) Sílice y aluminio.
- g) Alquitrán rebajado con benceno.
- h) Silicato de sodio.

Efectos

Los aditivos de resistencia a la humedad, al reducir la penetración en los poros visibles, pueden retardar la penetración de la lluvia en bloques de concreto fabricados con mezclas no plásticas. Datos de prueba muestran que también reducen la velocidad de penetración de la humedad en los microporos del concreto seco, pero no hay indicios de que tengan efectos comparables en el paso de humedad a través de concreto no saturado, - excepto cuando el concreto está hecho con pasta de relativa alta porosidad.

La pasta de alta porosidad es resultante de un contenido bajo de cemento y por tanto, de la correspondiente alta relación - agua-cemento, falta de curado o de ambos factores. Si el concreto es de suficiente baja porosidad, tal como la que se obtiene produciendo una pasta bien curada con relación agua-ce-

mento no mayor de 0.6 por peso los agentes para evitar el paso de la humedad no dan una mejoría apreciable.

Porosidad del Concreto

Debido a los cambios que sufre el concreto por sangrado y contracción quedan poros y conductos capilares, de distintas formas y diámetros, en toda la masa, con un volumen casi igual a un 50% del volumen del cemento. Este espacio poroso se mantiene lleno de agua durante todo el tiempo que el concreto está bajo un curado efectivo, pero queda vacío en cuanto se deja secar, encogiéndose un poco disminuyendo las dimensiones de los poros y conductos capilares, dando lugar a la reducción total de volumen, denominada "retracción". A su vez este espacio es susceptible de volverse a llenar de agua si se pone en contacto con ella y hasta puede recobrar un poco del volumen perdido gracias a un proceso inverso que podría llamarse "hinchado".

Características de la Porosidad de la Pasta

De acuerdo con algunos investigadores se considera que la pasta de cemento endurecida tiene un grado de impermeabilidad al agua del mismo orden que las piedras naturales compactas como el mármol y el granito; pero siempre y cuando la pasta de cemento y agua haya sido hecha con una relación inferior a 0.5.

La finura del cemento y su composición química no tienen nada que ver con la porosidad. Esta sólo depende de la relación agua-cemento. A partir de 0.5 la permeabilidad al agua de la pasta se hace notablemente mayor como se ve en la gráfica (Fig. 11)

El cemento, aunque haya sido sometido a un proceso de hidratación avanzada, al secarse completamente llega a tener una per-

meabilidad 70 veces mayor, cuando la relación agua/cemento = 0.7

Permeabilidad del Concreto

En las obras de concreto no se llega a tener un buen grado de impermeabilidad, similar al medido en la pasta pura en el laboratorio, lo cual es debido a las deficiencias en el contacto entre pasta y agregados. Por medio de colorantes líquidos se han podido observar al microscopio, en secciones delgadas de concreto obtenidas de probetas de laboratorio, los huecos capilares variables que se encuentran entre el cemento y los agregados.

La manera de lograr un concreto menos permeable es, desde luego, usar baja relación agua-cemento, una buena granulometría, una colocación adecuada y evitar lo más posible el sangrado, pero queda por contrarrestar la absorción capilar, que se presenta en el concreto endurecido ya seco. Por lo tanto, se pueden considerar dos tipos de impermeabilizantes integrales, ya sea para uno u otro objeto. Con la denominación de impermeabilizantes integrales, se consideran los productos o las sustancias químicas que tienen efecto en las propiedades del cemento endurecido, aparte de cualquier otro efecto que puedan tener en el concreto fresco. El término "impermeabilizante" ya sea en la masa íntegra de concreto o simplemente superficial, es la protección del concreto contra la penetración de agua o la detención de ésta en un flujo a través de concreto no saturado. Los aditivos clasificados con este nombre, consiguen reducir la proporción de agua que puede penetrar al concreto seco o la transmisión del agua a través del concreto no saturado, desde el lado mojado hasta el lado seco. Esto quiere decir que los impermeabilizantes integrales pueden ser aditivos muy eficaces para lograr concretos prácticamente impermeables, con la

condición de que el concreto se manufacture con los procedimientos y materiales adecuados para obtener la menor porosidad posible, pero no podrán suplir las deficiencias de un concreto excesivamente poroso o que presente huecos y grietas por defectos de colocación y otros motivos. La permeabilidad del concreto endurecido se debe tanto a la capilaridad, cuanto a las bolsas de aire y a las vías de agua. Sin embargo, hay que diferenciar los procesos según los cuales el agua puede pasar a través de él. En uno, el agua a presión y en contacto con una superficie de la estructura es forzada a pasar por canales - grandes o pequeños hasta el otro lado. A este tipo de flujo - se le llama "permeabilidad".

En el otro proceso el paso del agua a través del concreto puede tener lugar sin ninguna presión externa, apreciable sino - simplemente por la acción de las fuerzas capilares que succionan el agua hacia adentro y a través de la masa.

La evaporación en las superficies expuestas al aire seco y la reposición constante de la humedad, desde el lado en contacto con el agua, o la ascensión de ésta por capilaridad, dan como resultado una corriente a través del concreto que se denomina "absorción".

Tensión Superficial del Agua

En la superficie de contacto del agua o de un líquido cualquiera y el aire o algún gas, se presenta el fenómeno de tensión, debido a la cohesión de las moléculas del líquido, parecida a la cohesión molecular de los sólidos. De hecho son las mismas fuerzas cohesivas cuya intensidad varía desde los cuerpos más duros hasta los líquidos más ligeros que se volatilizan aún a bajas temperaturas.

Las fuerzas cohesivas están en relación inversa con la temperatura. Por ejemplo: el acero, metal que a la temperatura ambiente guarda un estado sólido que presenta gran cohesión molecular, llega a licuarse a temperaturas suficientemente altas. Inversamente, los gases más ligeros pueden licuarse.

La cohesión no se modifica por saltos sino paulatinamente y - presenta estados intermedios entre sólidos-líquidos y líquidos-gaseosos. Los líquidos viscosos tienen más cohesión que el agua y presentan fenómenos diferentes en lo que se refiere a - tensión superficial. En todos los líquidos, excepto los muy volátiles que se gasifican, una gota toma la forma esférica en el aire por ser esta la forma que corresponde a menor superficie para mayor volumen. El agua de un vaso lleno hasta un poco más de sus bordes no se derrama por la cohesión de las moléculas que se manifiesta en la superficie libre (Fig. 12). En estos casos y muchos otros que se presentan constantemente en la vida diaria, es necesaria una fuerza determinada para romper la cohesión de la superficie que forma una especie de película resistente, capaz de soportar cierta "tensión" antes de que las partículas del líquido se separen.

Adherencia entre Líquidos y Sólidos

En la superficie de contacto entre un líquido y un sólido, a su vez se presentan fenómenos de adherencia o repelencia que - dependen de la constitución molecular de ambos cuerpos. Cuando son del primer tipo se dice, comúnmente, que el líquido moja al sólido, como es el caso del agua con un gran número de - materiales. En el caso de repelencia, el líquido no moja al - sólido, como sucede con el mercurio, que no se adhiere a ningún material, aunque se "liga" con otros metales por "amalgación".

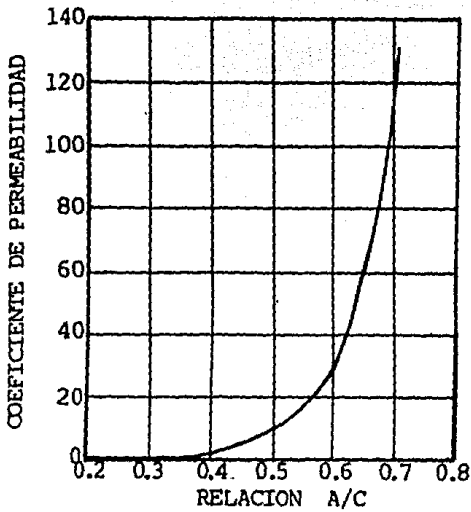
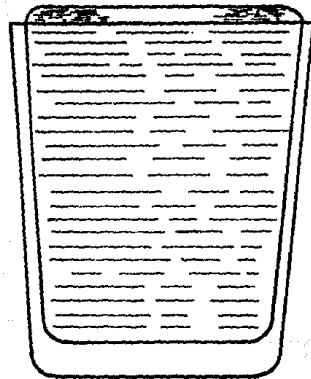


Fig. 11 La permeabilidad de la pasta de cemento depende solamente de la relación a/c . Cuando se aumenta, a partir de 0.5 la permeabilidad al agua se hace notablemente mayor. Para $a/c = 0.7$ el coeficiente de permeabilidad se hace mayor.

Fig. 12 El agua de un vaso lleno hasta un poco más de sus bordes no se derrama debido a la cohesión de las moléculas, que se manifiesta en la superficie libre.



Entre la adherencia extrema y la máxima repelencia hay una infinidad de grados intermedios, no solamente por la constitución de los dos cuerpos en contacto, sino también en función de la temperatura.

Hay además, sustancias en estado líquido, más o menos ligero, viscoso o pastoso que tienen un gran poder adhesivo y llegan a solidificarse permanentemente por temperatura, por transformación química o por algún otro motivo casual o intencional sobre el cuerpo sólido en que se hayan puesto en contacto.

Esas sustancias forman los distintos grupos de "adhesivos", "colas" y "pegamentos", ya conocidos desde hace mucho tiempo o de otros más recientes, como son los plásticos, las resinas epoxy, y en general de aquellos formados por la polimeración de ciertos compuestos, de los cuales se tratará al final, en su papel de aditivos para el concreto.

Limitándonos a la adhesividad del agua a las paredes de los cuerpos sólidos con los que entra en contacto y teniendo una superficie libre expuesta a la presión atmosférica, se pueden observar estos fenómenos:

Que al sumergir una barra limpia de vidrio, por ejemplo, en un recipiente con agua en estado de reposo, la superficie de ésta toma una curvatura cóncava en el contacto con la barra. Las fuerzas adhesivas del agua al mojar la barra, predominan sobre las fuerzas cohesivas del agua. Si la barra se va sacando del agua, arrastrará consigo una cierta cantidad de líquido que se quedará adherido a ella formándose una película delgada.

Quando el cuerpo que se sumerge en el agua es repelente como una barra de cera, el agua formará una curvatura convexa junto a la línea de contacto con el sólido, es decir, que ésta no se

moja, y cuando se saca va quedando completamente seca (Fig. 13).

Si en ves de barras, los sólidos que se sumergen en el agua - tienen forma de tubos, las curvas que forma el agua, denominadas "meniscos" en el contacto con las paredes de los tubos, - tanto interiores como exteriores, son cóncavos o convexos, según haya adherencia o repelencia, entre el agua y la superficie de la pared. Sin embargo, en los tubos de pequeño diámetro se produce, además, otro fenómeno cada vez más acentuado - conforme el tubo va siendo más y más delgado; esto es la "capilaridad" (Fig. 14).

Capilaridad

El agua asciende por capilaridad dentro del tubo cuando lo moja, sobrepasando el nivel de la superficie libre del recipiente. En cambio, el agua se mantiene dentro del tubo bastante - más abajo del nivel de la superficie exterior cuando no lo moja. En el primer caso las fuerzas adhesivas predominan sobre las de tensión superficial y en el segundo éstas son más grandes y a veces las únicas que actúan en esa área circular pequeñísima, cuando hay repelencia absoluta. En la Fig. 15 se presenta una sección ampliada de un tubo capilar sumergido parcialmente en agua que lo moja. Para que el agua que ha ascendido dentro del tubo se mantenga en equilibrio se necesita el peso de un cilindro líquido de diámetro ($2r$) y altura (h) sea contrarrestado por una fuerza F , que no es otra que la suma de los componentes verticales de las fuerzas de adherencia tangenciales al menisco, en una circunferencia con ese mismo diámetro.

$$F = t \cos \theta \cdot 2r\pi = r^2 h \pi$$

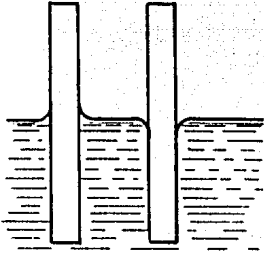


Fig. 13 Una barra de vidrio, limpia (izquierda), sumergida en un recipiente con agua, se moja y se forman meniscos cóncavos con la superficie. Una barra de cera (derecha) no se moja y los meniscos son convexos alrededor de la circunferencia de contacto.

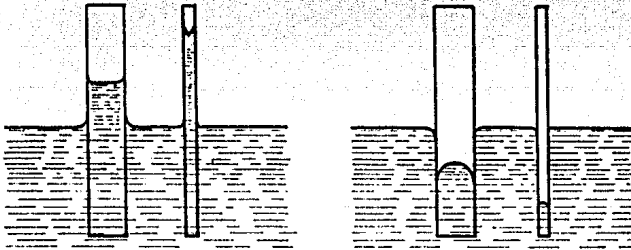


Fig. 14 El agua asciende por capilaridad dentro del tubo cuando lo moja, y se mantiene dentro del tubo a un nivel más bajo que el de la superficie exterior cuando el agua no lo moja. Cuando más delgado sean los tubos mayor será la diferencia de niveles en cada caso.

Quando la adherencia es perfecta, el ángulo es cero y va tomando todos los valores intermedios hasta ser de 90 grados donde la adherencia es nula.

La capilaridad explica claramente la absorción debida a los poros capilares en los materiales de construcción como el ladrillo y otros, incluyendo al concreto seco, ya que éste tiene alojados en su masa verdaderas redes interconectadas de conductos, con un volumen total aproximadamente igual a la mitad del volumen del cemento empleado en su fabricación.

Normalmente esos conductos capilares de concreto se mojan fácilmente y el agua penetra por ellos por efecto de la llamada "absorción capilar" a profundidades variables, según los diámetros, pero independientemente de la forma de los mismos. Sin embargo, cuando ha alcanzado a saturarse una zona y la fuente de humedad persiste, se establece una nueva condición y el agua asciende o penetra en el concreto otro tanto de lo que alcanzó al principio y se repite el fenómeno de absorción; y así sucesivamente. Este fenómeno explica el ascenso de humedad en las dallas y muros de cimentación en contacto con las aguas freáticas de los suelos. Si tales aguas están cargadas de sales, como sulfatos y carbonatos solubles, éstos aparecerán más arriba sobre la superficie expuesta al aire en los muros de concreto. Es la llamada eflorescencia, que además de ser motivo para la destrucción superficial del concreto, de los aplanados y recubrimientos, absorbe la humedad ambiente cuando la atmósfera está cargada de vapor de agua.

En los tanques o tinacos de concreto elevados, el agua penetra por capilaridad por la cara interna de las paredes y sigue un proceso de saturación hasta que por repetición del fenómeno, alcanza la cara exterior generalmente seca por la acción constante del aire y del sol. A menudo este proceso no es notable,

pero si el agua contiene cloruro o sulfatos, puede producirse la corrosión del fierro de refuerzo.

Naturalmente, existen muchos otros tipos de estructuras de concreto en donde se está realizando constantemente la capilaridad. Los casos más frecuentes de destrucción del concreto por la acción del agua absorbida por capilaridad, son durante la - congelación y el deshielo en los pavimentos de concreto, losas y partes de obras expuestas a la intemperie; y en las obras marítimas que están en contacto con el agua salada, principalmente en las zonas que alternativamente se encuentran húmedas o - secas por el oleaje o las mareas. Cualquier absorción capilar debe evitarse por ser nociva al concreto endurecido y seco.

3.1.- Aditivos Repelentes al Agua

Los aditivos impermeabilizantes integrales del concreto, repelentes a la absorción capilar, son sustancias químicas comprendidas dentro de los grupos de estearatos, oleatos y algunos derivados del petróleo. Los más conocidos del grupo de estearatos son los de amonio, de butilo y de calcio. Los oleatos no son muy usados porque forman espuma y los derivados del petróleo, los aceites, minerales y emulsiones asfálticas, son cada vez menos usadas porque pueden producir reacciones que provocan la desintegración del concreto.

Acción Física en la Red Capilar

Estos aditivos se mezclan con el concreto en el momento de prepararlo. El estearato de calcio es altamente repelente al - agua e insoluble; se encuentra en el mercado en forma de polvo que se debe adicionar al cemento y a los agregados, en la revolvedora, antes de poner el agua.

Los estearatos de amonio y de butilo son solubles y se agregan al agua; cuando se encuentran en contacto con la cal liberada del cemento, durante el proceso de hidratación se forman estearatos de calcio que se adhieren a las paredes de los poros y pequeños conductos llenos de agua, donde forman una película delgadísima al secarse el concreto, haciéndolos repelentes al agua y por lo tanto no absorbentes o de capilaridad negativa. En la figura 16 se muestra esquemáticamente una sección de un tubo capilar repelente al agua, sumergido parcialmente en ésta. El agua se mantiene dentro del tubo más abajo del nivel libre del agua en el vaso. Si el tubo es cien por ciento repelente y suficientemente delgado, el agua no penetra en el tubo, - cualquiera que sea la profundidad de su extremo inferior.

Quando se eleva la temperatura las elevaciones medias en todos los líquidos, en un tubo determinado, disminuyen hasta anularse; lo que quiere decir que el concreto en climas muy fríos - puede absorber el agua más fácilmente que en climas calientes. Lo que hace más peligrosa su porosidad.

Efecto Químico.- El efecto químico de los estearatos de amonio, de alúmina y de butilo, al entrar en solución con el agua de colado y tomar parte en la hidratación del concreto, es formar compuestos con las sales libres y con las que van liberando los aluminatos y silicatos tricálcicos, que son solubles. De esta manera fijan la cal, y a la vez evitan que ésta sea - arrastrada por el agua excedente en el sangrado, y más tarde - en todos los ciclos sucesivos que puedan presentarse de secado y absorción de agua. Se forman estearatos de calcio que son insolubles y permanentes en forma de películas moleculares - adheridas a las paredes de los tubos y alveolos capilares como se ha dicho antes. Por supuesto que la adición de estearato - de calcio no tiene el efecto fijador de cal durante la hidratación del cemento. El grado de repelencia es bastante alto, -

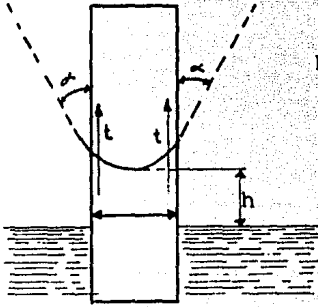
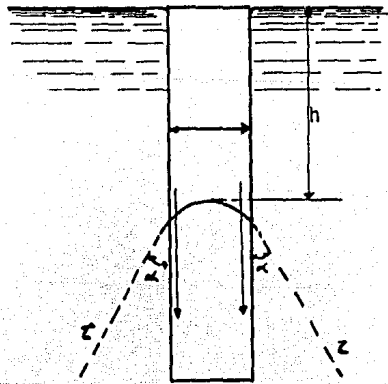


Fig. 15 La suma de las componentes verticales de las tensiones unitarias en una circunferencia de diámetro igual a $2r$ equilibran el peso de la columna de agua con el mismo diámetro y altura h .

Fig. 16 En un tubo capilar repelente al agua, ésta se mantiene dentro del tubo más abajo del nivel que tiene en el recipiente donde se haya sumergido por una fuerza igual a la suma de los componentes verticales de las tensiones unitarias. Fuerzas de tensión superficial:

$$\tau \cdot \cos \alpha \cdot 2\pi r = \pi r^2 h$$



principalmente el de los aditivos que entran primero en solución en la masa al hacerse la mezcla. Los porcentajes comunes son del 2% del peso de cemento, o un poco menos si se usan en combinación con dispersantes o inclusores de aire.

La reducción de la permeabilidad por absorción capilar se hace más notable en concretos con relación superior a 0.5, pues la porosidad del concreto es el resultado de un bajo contenido de cemento y falta de curado.

Reductores de la Porosidad

Pueden usarse materiales finamente divididos de sustancias minerales, con lo que se consigue reducir la porosidad de algunos concretos con bajo contenido de cemento, entre los cuales se cuentan las tierras puzolánicas, las tierras diatomáceas, - la bentonita y otras materias que generalmente no tienen ningún poder cementante.

El polvo de hierro o limaduras, susceptible de aumentar el tamaño de sus partículas al oxidarse durante el fraguado, reduce materialmente el tamaño de los poros y aún el de las grietas - pequeñas; obstruye el paso del agua en los conductos y favorece la compacidad del concreto en muchos aspectos, de los cuales se tratará en el grupo de expansores y regulizadores de volumen.

3.2.- Reductores de la Permeabilidad

En general, todos los aditivos reductores de agua y del sangrado contribuyen a la reducción de la permeabilidad, pero también es indispensable que el consumo de cemento por metro cúbico de concreto sea reducido. Como mínimo el concreto debe tener 250 kg/m³ si se desea conseguir una buena impermeabilidad

con la ayuda de aditivos adecuados.

Concretos con 400 kg de cemento o más por m^3 no requieren el empleo de ningún impermeabilizante integral, siempre que se lleve a cabo una buena colocación, se evite un sangrado excesivo y se mantenga un buen curado durante siete días.

En el mercado existen productos que cambian diversos efectos y son a la vez repelentes de la absorción capilar y reductores de la permeabilidad. Su composición es a base de estearatos, lignosulfonatos o carbohidróxilos, con inclusores de aire. En la Fig. 17 se muestra el caso en que el aumento repentino del diámetro de un tubo capilar es suficiente para detener el fenómeno de absorción, lo cual sucede cuando se interponen burbujas de aire incluido o de gas en la red capilar. Se emplean en proporciones comprendidas entre 1 y 4% del peso del cemento. Estos son los aditivos que generalmente se consideran como los impermeabilizantes integrales más comunes. La puzolanas, que se tratan en otro grupo especial son relativamente reductoras de la permeabilidad, aunque sus propiedades principales son otras, como substitutos del cemento Portland, para tener un endurecimiento lento con bajo calor de hidratación.

Relación entre los Impermeabilizantes Integrales y otros Aditivos del Concreto

Tanto los plastificantes como los agentes para regular los tiempos de fraguado y de endurecimiento, tienen sobre el concreto un efecto inmediato, o al menos anterior al momento en que el concreto ha terminado su hidratación principal a los veintiocho días de colado. Unos y otros modifican en tal forma las características del concreto fresco, que repercuten o se manifiestan en cambios importantes en el mismo concreto ya endurecido, como: aumento en la resistencia a la compresión y

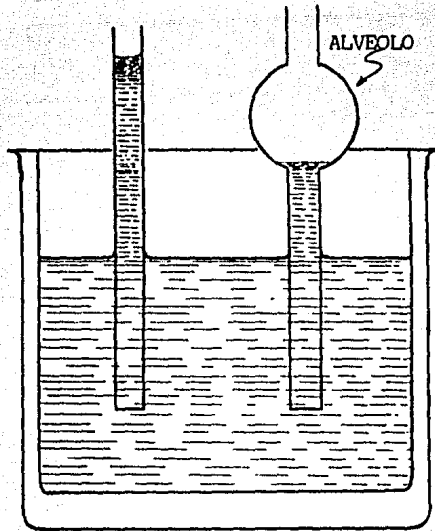


Fig. 17 La ascensión del agua en los tubos capilares puede interrumpirse por un aumento repentino del diámetro del tubo, como en el caso de que se interpongan alveolos o burbujas en la red capilar dentro de la masa de concreto endurecido y seco.

a la flexión, más compacidad y resistencia al intemperismo, - que son cualidades adicionales de un determinado concreto; pero a veces son variantes negativas como el aumento en la contracción o en la retracción del concreto, que propician el - agrietamiento o fisuración. Ya el constructor determinará en cada caso qué conviene dar o favorecer, de acuerdo con el objeto de la estructura de concreto.

Ahora bien, los impermeabilizantes integrales no tienen, por sí solos, ninguna influencia en el concreto durante el fraguado o en su etapa de endurecimiento. Su efecto está previsto - para el estado de concreto endurecido y seco, cuando el aire - ha ocupado el espacio antes lleno de agua de los vasos capilares y cuando han aparecido las grietas. En consecuencia, las pruebas de laboratorio y las experiencias a pie de obra requieren un lapso más largo, ya que es preciso esperar la terminación del tiempo de hidratación y aún el secado y retracción - del concreto. Sin embargo, éstas pueden iniciarse con la debida anticipación para tener resultados definitivos en un tiempo oportuno.

En cuanto a la compatibilidad de los impermeabilizantes integrales con los inclusores de aire o los agentes dispersantes, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

Los estearatos de amonio, de calcio, de aluminio y de butilo - se pueden combinar con inclusores de aire del tipo "resina de Vinsol" antes de adicionarse al concreto, formando compuestos completamente estables. Los densificadores a base de carbohidróxilos no se combinan con los inclusores de aire aún después de adicionarse al concreto.

Los dispersantes a base de lignosulfonato de sodio, de calcio o de amonio son perfectamente compatibles con los estearatos,

como los antes mencionados, pero no son estables si se mezclan mucho antes de adicionarse al concreto. Siempre es aconsejable usarlos y dosificarlos separadamente aún en el mismo concreto, pero no antes. Como este tipo de plastificantes tiene de por sí, un efecto retardante que disminuye la generación de calor y como se reduce el agua de colado, los efectos de los impermeabilizantes principalmente del tipo repelente se favorecen notablemente. Por último, hay que señalar que la relación de los repelentes con los acelerantes no es satisfactoria porque estos últimos generalmente favorecen la generación de calor de hidratación y, en consecuencia, la contracción por enfriamiento, así como la retracción y a veces un secado prematuro. Pueden, sin embargo, convenir a los impermeabilizantes a base de limadura de fierro para acelerar la oxidación de las partículas y a algunos otros reductores de la permeabilidad del tipo de materiales finamente pulverizados, incluso de aire, con dispersantes o fluidizantes, densificadores y retardantes, pero no con acelerantes. También si son compatibles con los expansores y estabilizadores de volumen, como se verá más adelante.

4.- AGENTES QUE CAUSAN EXPANSION DEL CONCRETO

Generadores de gas.
Estabilizadores de volumen.
Concreto celular.

Se define como aditivos expansores a los materiales que al adicionarse a una mezcla de lechada, mortero o concreto reaccionan con el cemento para generar un gas que produce un aumento en el volumen de la mezcla antes del fraguado.

Se define como estabilizadores de volumen a los materiales que al adicionarse a una mezcla de mortero producen una expansión controlada.

da que compensa la contracción de la mezcla durante el fraguado y - después de éste.

4.1.- Aditivo Generadores de Gas.

El contenido de vacíos del concreto puede aumentarse mediante el uso de aditivos que generan burbujas de gas en el concreto fresco durante e inmediatamente después de la colocación, antes del fraguado de la pasta de cemento.

Materiales

Los aditivos que producen estos efectos son peróxido de hidrógeno, que desprende oxígeno; aluminio metálico 90-91 que desprende hidrógeno y ciertas formas de carbón activado del cual se libera el aire absorbido.

Solamente el polvo de aluminio se usa ampliamente como aditivo de concreto para este propósito. Se prefiere el polvo sin pulir aunque el polvo pulido puede usarse cuando se desea que - reaccione más lentamente. La velocidad y la duración del desprendimiento de gas depende de varias circunstancias, tales como la composición de cemento y la temperatura, relación agua-cemento, forma y finura de la partícula del polvo de aluminio y la efectividad del tratamiento se controla por el tiempo de mezclado, manejo y operaciones relacionadas con la velocidad - de generación de gas. La dosificación puede variar desde 0.005 a 0.02% por peso del cemento en condiciones normales aunque - pueden usarse cantidades mayores para producir un concreto de tipo celular de baja resistencia. Se requiere casi el doble - de aluminio a 4°C que a 21°C para producir la misma expansión. En virtud de que generalmente se usan pequeñísimas cantidades de polvo de aluminio (de alrededor de una cucharadita por saco de cemento) y tiene tendencia a flotar en el agua de mezclado,

generalmente se premezcla con arena fina, cemento o puzolana o se incorpora a aditivos comercialmente disponibles con efectos reductores de agua y de control del fraguado.

Efecto

El desprendimiento de gas, cuando está adecuadamente controlado origina una pequeña expansión en el concreto fresco acabado de mezclar. Cuando tal expansión queda restringida, se logra un aumento de adherencia con el acero horizontal de refuerzo - sin reducción excesiva de resistencia.

Cantidades fuertes de aditivo generador de gas pueden producir vacíos grandes que debilitan seriamente la matriz de la pasta. El efecto sobre la resistencia depende, en forma importante, - del grado al cual se restringe la tendencia de la mezcla a expandirse. Es por lo tanto importante que la cimbra para confinar sea resistente y cerrada adecuadamente. Los agentes generadores de gas no contrarrestan las contracciones posteriores al endurecimiento originadas por secado o por carbonatación. - En climas fríos, puede ser necesario acelerar la generación de gas añadiendo materiales alcalinos tales como hidróxido de sodio, cal hidratada o fosfato trisódico. Esto puede ser hecho para lograr suficiente generación de gas antes que la mezcla - haya fraguado.

Generadores de Gas

La disminución del volumen del concreto fresco, por asentamiento de los agregados y la pérdida de agua por sangrado, puede ser excesiva cuando menos indeseable en el concreto endurecido por eso conviene en muchas obras de relleno de cavidades, huecos o grietas, echar mano de un agente expansor.

Composición del Aditivo y su Efecto Físico

Los aditivos generadores de gas, a base de polvo de aluminio, son productos combinados de dispersantes, repelentes retardantes o puzolanas, que facilitan la dispersión en la masa de concreto o evitan la absorción capilar. La generación del hidrógeno, cuando se controla debidamente produce no solamente una ligera expansión de la masa del concreto fresco, sino que reduce el asentamiento de los agregados en forma parecida a la inclusión de aire. Sin embargo, como las burbujas de hidrógeno tienden a subir, no producen efecto favorable en la disminución del sangrado.

Expansión, Adherencia y Resistencia del Concreto

Quando se restringe o limita la expansión causada por el aditivo se aumenta la adherencia al fierro de refuerzo y se obtiene un buen empaque. Puede emplearse también, en el empaque de elementos post-tensados en obras de concreto pre-esforzado (Fig. 18),

El efecto del aditivo en la resistencia a la compresión del concreto, depende, en gran parte del grado de restricción a que esté sujeta la masa de concreto en su expansión. Sin ninguna limitación, la pérdida en resistencia puede ser considerable, cuando se usa un alto porcentaje de aditivo; pero cuando la expansión se restringe, suficientemente, entonces esa pérdida no sólo llega a ser inapreciable, sino que con frecuencia la resistencia se aumenta, independientemente de que se obtiene un concreto más homogéneo. Es por lo tanto muy importante que las formas o moldes confinen o encierren completamente la masa de concreto fresco tratado con un agente expansor y puedan resistir las presiones que causa el hidrógeno producido.

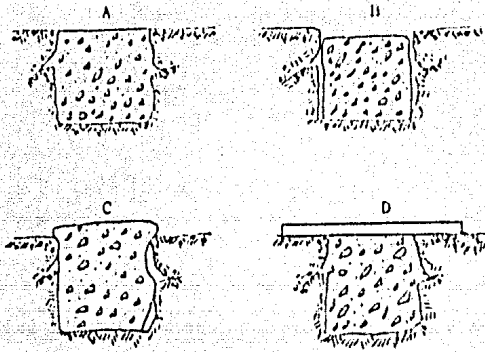


Fig. 18 A. Concreto común, sin aditivos usado para rellenar una cavidad (en roca, con concreto viejo u otro material).
 B. Concreto común después de que ha endurecido y se ha dejado secar.
 C. Concreto tratado con un agente de expansión que genera gas.
 D. Concreto tratado como el anterior pero en el cual se ha restringido la expansión.

Requisitos y Pruebas. - Expansores.

Deben considerarse como aditivos expansores todos aquellos productos cuyas propiedades expansivas deriven de la generación de un gas, al entrar en contacto con el agua y el cemento.

- a) Pruebas Selectivas.- Para cualquier aditivo indicado como expansor se tomará por prueba selectiva a la determinación de su aptitud para producir una expansión uniforme y controlable en una mezcla de mortero de características normalizadas.

La generación de gas se inicia prácticamente desde que entran en contacto el aditivo, el cemento y el agua. En consecuencia, es necesario prever que la colocación de la mezcla se realice en el menor plazo posible a partir del mezclado. Además para obtener cierta uniformidad en la expansión del producto colocado, es necesario procurar regularidad en los tiempos de transporte y colocación de las mezclas. La expansión excesiva de las mezclas afecta adversamente la resistencia mecánica del producto endurecido. Es conveniente, entonces, aplicar la dosis de aditivo que produzca la expansión mínima necesaria para compensar la contracción natural por fraguado. Aún así, es recomendable que estos aditivos se apliquen preferentemente en lugares en que las mezclas resulten confinadas.

La magnitud de la expansión producida con una misma dosis de aditivo y con unos mismos materiales, puede variar con otros factores tales como la temperatura ambiente y la presión atmosférica del lugar. Esto hace indispensable que los ensayos finales, para determinar la dosis adecuada de aditivo se realicen directamente en el sitio de aplicación, bajo las condiciones y con los materiales que se han pro-

puesto.

Esta determinación deberá efectuarse sobre especímenes obtenidos de una mezcla de mortero fabricada y ensayada conforme al Método de Prueba CRD-C 589 del U.S. Army Corps of Engineers, con las siguientes salvedades:

1. En ausencia de una arena sílica que permita reproducir la graduación de la arena de la obra, podrá usarse una arena natural con esta graduación, siempre que satisfaga las especificaciones de agregados para concreto ASTM C 33 y que su gravedad específica sea igual o mayor de 2.6
2. El cemento que se emplee será invariablemente el que se vaya a usar en la obra, para la aplicación prevista.
3. Se fabricarán tres especímenes en vez de dos, para determinar la uniformidad de la expansión producida.

Deberá considerarse que un aditivo expansor satisface las pruebas selectivas, cuando cumpla con los siguientes requisitos:

Al ser dosificado en la proporción recomendada por el fabricante o proveedor debe producir una expansión del mortero, antes de sobrevivir su fraguado final.

La expansión individual a 24 horas de edad, en cada uno de los tres especímenes de prueba, no debe desviarse más de 10% del valor de la expansión promedio de los tres especímenes.

Los aditivos expansores que satisfagan las pruebas selectivas se considerarán adecuados para someterlos a las pruebas normales de calidad. Los que dejen de satisfacer algunos de los requisitos establecidos, no se admiti

rán para la aplicación propuesta.

- b) Pruebas Normales.- Se considerarán como pruebas normales de calidad para los aditivos expansores, las determinaciones de tiempos de fraguado y de resistencia a compresión efectuadas en morteros comparativos, con aditivo y sin él, conforme a lo indicado en el método de prueba con la salvedad que en el mortero de prueba el aditivo tendrá que dosificarse en una proporción tal que produzca una expansión no mayor de 0.5% a las 24 horas de edad.

La determinación de los tiempos de fraguado podrá ejecutarse con el empleo de la aguja de Vicat, siguiendo las recomendaciones de los Métodos de Prueba CRD C 589. Las tolerancias en los tiempos exigidos para adquirir el fraguado del mortero que contenga el aditivo expansor, en relación con los tiempos requeridos por el mortero comparativo que no contenga aditivo, son como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Fraguado inicial (h : min)} &= + 2.00 \text{ (máx)} \\ &\quad - 1.00 \text{ (mín)} \\ \text{Fraguado final (h : min)} &= + 4.00 \text{ (máx)} \end{aligned}$$

La determinación de la resistencia a compresión se hará con cubos de mortero de 50.8 mm (2 pulg.) por lado hechos y ensayados conforme al método de prueba CRD C 589

4.2.- Estabilizadores de Volumen

A este grupo pertenecen ciertos productos que durante la hidratación del concreto se expanden ellos mismos, por determinadas reacciones químicas. A diferencia de los generadores de gas, aumentan su volumen solamente en una proporción definida, en estado sólido, por lo que es necesario confinar completamente al concreto al cual se añaden, pero en cambio es necesario que

su acción expansiva no comience antes de que el concreto tenga suficiente resistencia para que éste pueda soportar los esfuerzos de tensión que se provocan (Fig. 19)

Con una dosis adecuada se consigue estabilizar el volumen evitando reducciones debidas no sólo a la pérdida de agua por sangrado, sino también a las de contracción y aun al encogimiento o retracción por secamiento del concreto endurecido. Entre estos aditivos se cuenta: la limadura de hierro, el cemento aluminoso y las combinaciones o variantes de este último.

La Viruta de Hierro Gris

El material más usado es el hierro de fundición finamente dividido (como la viruta, la rebaba o limadura) convenientemente graduado y tratado con agentes químicos que aceleran su oxidación. La expansión se produce por el aumento del volumen sólido conforme se convierte en óxido de hierro, lo cual tiene lugar bajo la acción del aire y la humedad. Como el catalizador que se le añade para regular el tiempo de oxidación tiene que guardar una proporción exacta con el hierro, no deben usarse simultáneamente acelerantes en el concreto.

Comúnmente, la proporción más conveniente es de 80% de aditivo sobre peso del cemento. La viruta de hierro se puede usar con la pasta de cemento, con el mortero de cemento y arena y rara vez con el concreto, pues no es aconsejable para grandes rellenos sino, más bien, para empaque. Sin embargo, se puede usar satisfactoriamente con agregados gruesos, cuando el caso lo amerite, aunque en tamaños que no excedan de 1/2 pulgada de diámetro. Sus principales aplicaciones son en concreto para bases y pedestales de maquinaria, de columnas, de grandes estatuas: para asientos de vigas de acero, rellenos de grietas, empaques de tuberías, de anclas, etc. Tiene la ventaja de que

hace al concreto mucho más pesado, compacto y resistente, que son las características deseables en los casos citados. La oxidación de las partículas de fierro tiene lugar preferentemente durante el tiempo de fraguado. Se va debilitando conforme el concreto se va endureciendo siempre sujeto a un buen curado y al fin cesa completamente. Más tarde, al secarse el concreto, se pierde parte del agua, pero el aire que la va sustituyendo provoca una nueva oxidación. Cada vez que el concreto se sature de agua, por absorción capilar, y se seque, se producirá una nueva oxidación. Por esta causa los estabilizadores de volumen contrarrestan el efecto de retracción del concreto, pero cuando la proporción de aditivo es algo elevada - con objeto de empacar o acuñar a presión cavidades o espacios que los requieran, la superficie libre deberá protegerse con una capa de pintura, barniz, mortero de cemento y arena y hasta con concreto, según la obra de que se trate. Conviene que estos últimos sean tratados además con un impermeabilizante integral adecuado (Fig. 20)

Compuestos Sulfo-aluminosos

En Francia se manufacturan cementos sulfoaluminosos a base de bauxita, piedra caliza y yeso. Adicionando al cemento Portland, antes de hacer la mezcla de concreto, se expanden por sí mismo al formarse sulfoaluminato de calcio hidratado sin cambiar su estado sólido. Las proporciones usuales de este aditivo con relación al cemento son del 9 al 25% pero no reduce la resistencia del concreto, a pesar de estas dosis relativamente altas, porque tiene en sí propiedades cementantes. De una manera similar se obtiene en Rusia un cemento aluminoso que se mezcla con yeso calcinado para formar un producto que aumenta de volumen, sólido, al hidratarse junto con los componentes del cemento se controla con el tiempo de curado (no menos de tres días) y la temperatura del agua.

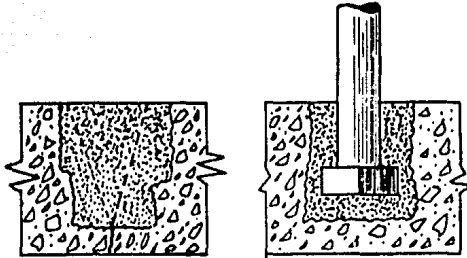


Fig. 19 Con una dosis adecuada de un aditivo estabilizador de volumen en el mortero y en el concreto se evitan reducciones en volumen, por sangrado, contracción o retracción y aún por enfriamiento. Sus principales aplicaciones son: en bases de maquinaria, de columnas, de grandes estatuas, rellenos de grietas, empaques de pernos de anclaje, etc.

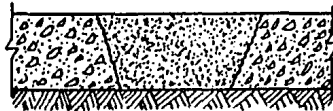


Fig. 20 La recuperación de volumen, debida a la oxidación de las partículas de hierro del aditivo estabilizador, tiene lugar cada vez que se produce el proceso de secado y humedecimiento. Debe protegerse la superficie expuesta al aire y al agua con una capa impermeable de pintura o con mortero tratado con un impermeabilizante integral.

El volumen aumenta constantemente mientras se mantenga sujeto al concreto a un curado efectivo, aunque los incrementos de volumen se vayan reduciendo hasta al cabo de algún tiempo.

Requisitos y Pruebas

Aunque los aditivos estabilizadores de volumen pueden usarse en mezclas de concreto, los mejores resultados se obtienen en mezclas de morteros de empaque, que se aplican en los lugares en que se requieren conservar las dimensiones originales del relleno al ser colocado.

Estos aditivos generalmente constan de un agregado metálico oxidable y de un ingrediente que promueve la oxidación. Esta oxidación produce una ligera expansión regulada para compensar la contracción que es de esperar como resultado del fraguado, la pérdida de agua por evaporación y otros factores afines.

A diferencia de los aditivos expansores, en los estabilizadores de volumen la expansión puede continuar después del fraguado de la mezcla, en tanto el agregado no se oxide completamente y la porosidad del relleno permita el acceso de oxígeno al interior de la masa. Aún cuando los resultados que se obtienen con estos aditivos no son influidos seriamente por las condiciones locales de aplicación, siempre es recomendable que previamente a la utilización en obra de un producto aprobado por el laboratorio, se verifique la dosis adecuada del producto con los materiales y los procedimientos de fabricación de la obra en que se aplique.

- a) Pruebas Opcionales.- Se considerará como prueba opcional de calidad para los aditivos expansores, la determinación de la contracción, por secado en especímenes obtenidos de morteros comparativos, con aditivo y sin él, preparados conforme a lo indicado en el Método de prueba CRD C 589 para -

la determinación de la expansión, excepto que también habrá necesidad de fabricar especímenes de un mortero-testigo sin aditivo y que en el mortero de prueba el aditivo deberá dosificarse en una proporción tal que produzca una expansión no mayor de 0.5% a las 24 horas de edad.

Se considerará como contracción por secado de los especímenes las diferencias entre las alturas medidas a las 24 horas de edad y las mismas mediciones efectuadas a los 28 días de edad. La tolerancia permisible en el mortero de prueba con aditivo deberá consistir en que su contracción por secado sea igual o menor que la contracción experimentada en las mismas condiciones por el mortero-testigo, sin aditivo.

Quando un aditivo expansor satisfaga los requisitos establecidos para las pruebas normales y, en su caso, para la prueba opcional, será aprobado por el laboratorio. Si dejara de cumplir con alguno de estos requisitos, sería inadmisiblesu empleo en la obra para la que haya sido propuesto.

- b) Pruebas Selectivas.- Para cualquier aditivo indicado como estabilizador de volumen se considerará como prueba selectiva la determinación de su aptitud para producir una expansión controlada que compense la contracción de un mortero normalizado.

Esta determinación deberá efectuarse sobre especímenes obtenidos de una mezcla de mortero fabricada y ensayada conforme a las indicaciones del Método de prueba ORD C 589 excepto que en ausencia de una arena sílica de graduación específica podrá emplearse una arena natural con la misma graduación, siempre que satisfaga las especificaciones de agregados para concreto ASTM C 33 y que su gravedad específica -

sea mayor o igual que 2.6

Factores que Contribuyen a Disminuir la Contracción

Hay que considerar también los factores que contribuyen a disminuir la contracción del concreto, como la reducción en la cantidad de agua y el retardo en el fraguado final.

Son aconsejables, por lo tanto, los agentes dispersantes y fluidizantes, en ciertos tipos de rellenos o para facilitar el bombeo del concreto o del mortero y la penetración de éste último en grietas delgadas en operaciones de inyectado, como por ejemplo en rocas de cimentación de presas o de manchones de puente, etc. También es muy conveniente, en ocasiones, usar agentes impermeabilizantes integrales para garantizar un empaque o relleno a prueba de absorción capilar.

Los aditivos expansores tienen una aplicación muy importante en los concretos preempacados o en los que se emplea el sistema cold-crete.

Procedimiento que consiste en inyectar o bombear lechada de cemento que se ha llevado a un estado coloidal apropiado, junto con arena fina para formar un mortero fluido entre los huecos de la grava graduada que se ha colocado previamente en los moldes, consolidada en seco o con agua.

Acción Conjunta de los Agentes de Expansión y Otros Aditivos del Concreto

Los generadores de gas, principalmente hidrógeno, no son compatibles con los inclusores de aire, porque el espacio ocupado por las burbujas diminutas de aire, que pueden llegar a ser de un 6% del peso del cemento en un concreto sin perjuicio de la resistencia final, se verá notablemente aumentado por el espa-

clo que ocupen las burbujas microscópicas de hidrógeno al aire generado con la natural reducción de resistencia del concreto en que se usarán simultáneamente; pero además, aumenta también el tamaño de cada una de las burbujas, lo que reduce el efecto de cohesión entre los granos de arena. En cambio, la acción de los generadores de gas se complementa muy bien con los dispersantes o fluidizantes que son por naturaleza retardantes y con los Impermeabilizantes integrales del tipo "repelentes". Como los materiales que generalmente se usan para producir el hidrógeno como el polvo de aluminio y el de zinc, son sumamente "volátiles", difíciles de manejar y de dispersar en toda la masa de concreto, se necesitan mezclar íntimamente con un vehículo o material apropiado para fijarlos y conseguir difusión - junto con el agua de colado. Sin embargo, hay que señalar algunas diferencias entre una y otra mezcla. Con los repelentes del tipo estearato de amonio o de butilo, los elementos expansivos entran en suspensión uniforme en el agua de la revolvedora, y se mantienen el tiempo suficiente hasta que ésta se añade a los agregados y el cemento, sin que los polvos de aluminio o de zinc se segreguen, floten o asienten. El resultado será un concreto integralmente repelente al agua, a la vez que aumento de volumen. Los polvos expansivos mezclados con dispersantes, reductores de agua en polvo no deben añadirse al agua de colado, porque el aluminio o el zinc se separan.

Es por lo tanto, aconsejable adicionarlos a los agregados y al cemento en seco revolviendo suficientemente la mezcla antes de agregar el agua.

No se deben emplear nunca en el mismo concreto agentes generadores de gas y aditivos acelerantes, debido a que estos últimos modifican la temperatura de la mezcla y la consistencia - fluida de la misma, lo que a su vez altera la rapidez de generación de hidrógeno, el tamaño de las burbujas y su distribu-

ción en la masa. El caso con los estabilizadores de volumen es totalmente diferente, principalmente los aditivos a base de limadura o polvo de hierro dulce. Como la expansión en este caso es debida únicamente a la oxidación del hierro, lo importante es que las partículas de este material se encuentren dispersas en todo el concreto, lo que se logra en forma bastante eficaz, tanto durante la revoltura en seco del aditivo con el cemento puro, como de toda la mezcla ya húmeda.

Pueden usarse, en consecuencia toda clase de aditivos que se requieran para otros efectos, además de la expansión del concreto sin más límite que el que a los otros productos corresponda, según se ha visto en los demás temas.

En la elaboración de concreto celular a base de generadores de gas se emplean también fluidizantes, densificadores, retardantes o acelerantes. Los inclusores de aire no deben usarse, así como los repelentes y los reductores de permeabilidad. El concreto celular, por su misma naturaleza, siempre resulta permeable al agua, razón por la cual solamente puede protegerse con productos de aplicación superficial.

4.3.- Concreto Celular

La fabricación de concreto celular, principalmente en elementos pre-colados, ya se ha tratado en el tema correspondiente a los inclusores de aire, sin embargo, usando altos porcentajes de aluminio se puede fabricar un concreto ligero.

Algunas veces la cal viva, la cal hidratada o fosfato de trisodio aceleran la generación de gas.

Este tipo de concreto ligero puede hacerse con o sin agregados pero generalmente, en tabiques divisorios, placas termo-aislan

tes y rellenos, donde no tenga mucha importancia la resistencia.

También se puede fabricar este tipo de concreto en el lugar mismo de la obra, pero nunca como concreto estructural. Los porcentajes de aluminio llegan a ser hasta de 500 g. por m^3 de concreto, pero no se recomienda al constructor usar tales dosis sin consultar a algún experto; y más bien se deben usar productos ya preparados para dar una buena dispersión.

5.- MATERIALES PULVERIZADOS

Inertes

Cementantes

Puzolanas

Agentes de Cristalización

5.1.- Materiales Inertes y Materiales Cementantes

En mezclas escasas de finos se puede lograr una mejora notable en la trabajabilidad por medio de la adición de aditivos de este tipo, con lo que se logra una reducción en el sangrado y aumento en la resistencia del concreto. Entre más alta sea la superficie específica del material pulverizado, mejor efecto se obtiene en la manejabilidad del concreto fresco sin necesidad de aumentar la cantidad total de agua por m^3 .

En cambio en mezclas que cuentan con el material suficiente de "finos", particularmente los que tienen un gran consumo de cemento por m^3 , pueden sufrir una reducción en la resistencia de bida a la adición de los polvos, para la misma cantidad de agua.

De los distintos factores que determinan el sangrado y la plasticidad del concreto fresco el más importante es el valor de la superficie específica de los sólidos por unidad de volumen de agua. Cuando esta relación es baja, el sangrado es relativamente abundante. Aún más, la mayor parte del agua de sangrado no aflora en la superficie: esto es, las partículas de agregado se van asentando durante un corto período hasta que establecen puntos de contacto entre ellas.

La pasta de cemento demasiada cargada de agua, sigue sangrando dentro de los huecos formados por las partículas de agregados. El sangrado tiende a reducir la homogeneidad y se manifiesta por fisuras bastante grandes y perfectamente visibles, localizadas inmediatamente abajo de las partículas de agregado grueso que se pueden ver en una sección transversal del concreto.

Estos efectos indeseables pueden remediarse aumentando la relación del área de superficie de los sólidos al volumen de agua en la pasta, lo que se puede lograr aumentando el consumo de cemento por metro cúbico y disminuyendo un material mineral pulverizado. Aunque, en algunas circunstancias, la adición de polvo baja la cantidad de agua por m^3 y por lo tanto los vacíos de aire en el concreto, no debe considerarse que ese tipo de aditivos rellenen los huecos, en el sentido estricto de la palabra. Una pasta de cemento, polvo mineral y agua, envuelve las partículas de agregados finos y gruesos y los separa entre sí durante el proceso del mezclado. Por lo tanto, el efecto del aditivo mineral es aumentar el contenido de pasta en la mezcla y, en consecuencia, su capacidad de formación plástica. El efecto benéfico de uno de estos aditivos en un concreto determinado depende de varios factores. Es necesario conocer la proporción entre el volumen de agua más aire, la relación agua-cemento, y el contenido de pasta, para una determinada especificación entre cementos y agregados.

Diferente Proporcionamiento

Los materiales pulverizados de tan diversa constitución unos - de otros, que se adicionan al concreto según sus propiedades, ya sea sin reducir la cantidad de cemento por m^3 o bien sustituyendo una cantidad igual en peso o en volumen; pero más bien el volumen de polvo que se dosifica es bastante mayor que el cemento que se puede economizar, por lo que en este caso no se puede considerar a esta clase de materiales como reemplazantes del cemento. Algunos materiales muy finamente molidos se usan en proporciones de 5 a 15 por ciento en peso, con relación al cemento; otros, con ciertas propiedades cementantes, se dosifican entre el 15 y el 30%.

Efecto en la Resistencia del Concreto

Los materiales pulverizados inertes tienen, además de las propiedades físicas antes señaladas, sobre el aumento de la manejabilidad del concreto, ciertas particularidades que mejoran - notablemente la resistencia a la compresión.

La sílice arena silicosa finamente dividida puede formar con - la cal, a temperaturas normales, al hidratarse, hidratos coloi - dales de silicatos de calcio, siempre que la sílice se encuentre en un estado activo natural. Es de hacerse notar la influencia que tiene la temperatura de hidratación del concreto en el endurecimiento y aumento de resistencia; por ejemplo - cuando el curado se hace en autoclave.

Para altas temperaturas, aunque la arena cuarzosa sea inerte, reacciona con cal en un medio húmedo, para formar hidrato sili - cato de calcio que es de alta resistencia. Esto quiere decir que la temperatura tiene una gran importancia en el comportamiento de los materiales "inertes".

En general los aditivos de este grupo de materiales pulverizados, mejoran la resistencia de los concretos pobres en cemento, pero disminuyen la de los concretos ricos, aunque su empleo - sea a veces aconsejable en éstos, porque reducen la retracción y los riesgos de agrietamiento.

5.2.- Puzolanas

Se define como aditivos puzolánicos a los materiales no cementantes por sí mismos, pero que, al adicionarse a una mezcla de lechada, mortero o concreto reaccionan con el hidróxido de calcio presente para formar compuestos de propiedades cementantes.

Las puzolanas son materiales silicosos o silico-aluminosos que, por sí mismos, no tiene propiedades cementantes pero que, cuando se encuentran finamente pulverizados y en presencia de humedad, reaccionan químicamente con el hidróxido de cal, a la temperatura ordinaria, para formar compuestos que si tienen propiedades cementantes.

Todas las puzolanas deben su actividad a una o más de las cinco clases de estas sustancias:

- 1) Vidrio natural o artificial, silicoso y aluminoso.
- 2) Opalo.
- 3) Minerales arcillosos calcinados.
- 4) Determinadas zeolitas.
- 5) Oxidos hidratados o hidróxidos de aluminio.

Estos materiales petrográficamente se pueden clasificar como sigue:

- a) Cenizas volcánicas sueltas o compactadas; riolitas, o composiciones andesíticas.

- b) Rocas silíceas sedimentarias, tales como las tierras diatómicas, arcilla, opalinas y "cherts". Roca sedimentaria dura y muy densa, compuesta de calcedonia cuarzo y algunas veces ópalo.
- c) Arcillas calcinadas.
- d) Subproductos industriales tales como la escoria de alto horno, cenizas volantes y ladrillo molido.

Como norma general, las puzolanas no se especifican en los concretos, a menos que realmente se esperen de ellas ventajas bien definidas. Pueden usarse para mejorar la trabajabilidad y calidad del concreto, reducir el costo o proteger al concreto contra la expansión desintegrante de ciertas reacciones entre algunos tipos de agregados y los álcalis del cemento. Además, la mayor parte de las puzolanas reduce la generación de calor de hidratación del cemento, los cambios térmicos de volumen, el sangrado y la permeabilidad del concreto.

Las características negativas de las puzolanas, especialmente la arcilla calcinada y las pizarras, se reducen a que necesitan mucha más agua, en comparación con los cemento Portland para hidratarse. Esta condición exige a su vez, cierta cantidad adicional de cemento para conservar la relación agua-cemento y garantizar la resistencia prevista. El mayor consumo de cemento aumenta el costo del concreto; y la cantidad excedente de agua favorece la retracción y el agrietamiento. El efecto de la puzolanas y de los materiales cementantes, entre los cuales deben incluirse los cementos puzolánicos y los cementos de escoria, es por lo general sumamente lento en especial a bajas temperaturas. En condiciones favorables se obtienen en el concreto mejores resistencias a la compresión en edades avanzadas, es decir, mayores de un año, comparativamente al concreto

con sólo cemento Portland. Además el proceso de curado debe siempre prolongarse durante mucho tiempo, algo más de veintiocho días, para desarrollar la resistencia potencial equivalente a la que se obtendría en un concreto sin puzolanas, de una edad mucho menor.

Hay en el mercado productos a base de puzolanas que se destinan como aditivos para lograr cierta reducción en la absorción capilar del concreto endurecido.

Se emplean en alta proporción en el concreto de 20 a 25% del peso del cemento, sin reducir la cantidad de éste en el proporcionamiento propuesto.

Algunas veces se combinan con acelerantes (cloruro de calcio) y dispersantes, para compensar los efectos de retardamiento en el endurecimiento del concreto. Su empleo es delicado, principalmente porque requiere un curado cuidadoso y continuado en caso contrario son vulnerables al interperismo y a los fenómenos de congelación y deshielo.

Efectos de las Propiedades del Concreto

En aquellos lugares en donde los materiales disponibles como agregados para concreto sean deficientes en partículas de tamaño menor, en partículas de material que pase la malla Num. 200 el empleo de un aditivo mineral finamente dividido puede reducir el sangrado y la segregación y aumentar la resistencia del concreto, suministrado esos finos faltantes en los agregados. Cuando se emplea una proporción adecuada de aditivo mineral finamente dividido, no se requiere aumentar el contenido de agua del concreto. Son condiciones necesarias de una puzolana el tener una forma de partícula favorable y una finura satisfactoria si se quiere lograr un bajo contenido de agua. Por ejem-

plo, una puzolana gruesa o de forma no adecuada tal como ocurre con los vidrios volcánicos, puede requerir un aumento de agua en el concreto para un revenimiento determinado y por lo tanto originar un sangrado excesivo y segregación del concreto fresco.

La adición de un aditivo mineral finamente dividido a mezclas de concreto sin deficiencias de finos, particularmente mezclas ricas de cemento Portland, generalmente reduce la trabajabilidad para un determinado contenido de agua. Por esta razón la adición de aditivos minerales finamente divididos a tales concretos, si no es acompañada de una reducción de contenido de cemento, frecuentemente origina un aumento de la calidad total del concreto y puede resultar en un aumento de las contracciones por secado, en la absorción y reducción de resistencia.

Los aditivos minerales finamente divididos no deben ser añadidos a una mezcla de concreto ya existente sin un nuevo estudio de las características del aditivo por sí y de sus efectos en la inclusión de aire y volumen de concreto, son algunos factores que deben ser considerados.

En general, menor proporción de aditivos se requiere para producir determinado efecto en la trabajabilidad a medida que es mayor la superficie específica del aditivo. A continuación se trata el proporcionamiento de concreto con aditivos minerales finamente divididos.

Los aditivos minerales finamente divididos que tienen un peso específico menor que el agregado de peso normal, se usan algunas veces en sustitución de tales agregados finos en mezclas de concreto ligero para reducir el peso unitario manteniendo la manejabilidad. Algunas veces se proporciona el concreto con aditivos minerales finamente divididos con el fin de produ

el concreto para ser bombeado por tubería de pequeño diámetro. Tal concreto no debe sangrar fácilmente y debe permanecer homogéneo o plástico durante su paso por la bomba y la tubería y manguera. El uso de una cantidad suficiente de un aditivo mineral apropiado y finamente dividido puede aumentar proporcionalmente el volumen de la matriz aunque se reduzca el contenido de agua y aumentando, por lo tanto, la capacidad del concreto a la deformación plástica y reduciendo la velocidad y la cantidad de sangrado.

Efecto en la Resistencia

El efecto de un aditivo mineral en la resistencia del concreto varía notablemente con las propiedades del aditivo y con las características de la mezcla de concreto en la que se usa. Por ejemplo, los materiales relativamente inertes químicamente, generalmente aumentan la resistencia de mezclas pobres y decrecen la resistencia de mezclas ricas. Por otra parte, los materiales cementantes y las puzolanas, contribuyen a dar resistencia no sólo por sus características físicas sino también por su composición química.

Para lograr resultados satisfactorios y un proporcionamiento adecuado de concreto, es importante saber que uso se le va a dar al concreto, condiciones probables en el momento de la colocación y la naturaleza del aditivo que se propone usar.

Efecto en la Resistencia a los Sulfatos.- El uso de aditivos puzolánicos con cemento Portland en el concreto, generalmente aumenta la resistencia al ataque agresivo del agua de mar, a los sulfatos solubles en el suelo y aguas naturales ácidas. La mejoría relativa es mayor en concretos con bajo contenido de cemento.

El uso de una puzolana con cemento Portland resistente a los sulfatos, puede no aumentar la resistencia a los sulfatos y si están presentes en la puzolana compuestos aluminosos químicamente activos, probablemente resulte una reducción considerable en la resistencia del concreto a los sulfatos. Un aumento considerable de resistencia a los sulfatos del concreto con "fly ash", sin tener en cuenta el tipo de cemento usado. La efectividad del "fly ash" para mejorar la resistencia del concreto a los sulfatos aumenta cuando se incrementa la severidad de la exposición a los sulfatos.

Efecto en el Aumento de la Temperatura

Para un contenido fijo de cemento, el uso de materiales químicamente inertes tiene poco o ningún efecto en la elevación de temperatura del concreto en el lugar del colado. Aunque algunos aditivos cementantes en presencia de cal y alcalis, las puzolanas producen menor calor de hidratación que el del cemento Portland, puede aumentarse la temperatura del concreto si se usan estos aditivos en cantidad suficiente. Sin embargo, se ha establecido plenamente que en concreto masivo de contenido muy bajo de cemento, la elevación de temperatura del concreto que contiene materiales cementantes o aditivos puzolánicos es generalmente menor que la de concreto similares conteniendo solamente cemento Portland como material cementante.

Efecto en la Expansión Causada por la Reacción Alcali-Silice

Se ha informado, que casi todas las puzolanas, cuando se usan en cantidad suficiente, son capaces de evitar la expansión excesiva resultante de la reacción álcali-silice. Sin embargo, el uso de una proporción muy pequeña de puzolana puede realmente aumentar los efectos perjudiciales de la reacción álcali-silice. Se informa que los siguientes porcentajes de

reemplazo de cemento por aditivos minerales finamente divididos, ofrecen protección contra la expansión excesiva causada por esta reacción.

- a) Arcillas calcinadas: 19-29%
- b) Vidrios volcánicos: 32-36%
- c) Escoria de alto horno molida y "fly ash": 39-45%

La reacción entre el cemento y los agregados, arena y grava, es muy frecuente en el área de la Gran Planicie de los Estados Unidos, parece que está ligada a la reacción álcalis-sílice. El estudio del comportamiento a largo plazo de pavimentos de prueba, indica que las puzolanas pueden ser ventajosas para reducir o eliminar el agrietamiento en forma de mapa y la expansión resultante de esta reacción. El uso de puzolanas para reducir la expansión originada por la reacción álcalis-carbonato de rocas ha sido investigada y los resultados, a esta fecha, todavía no son concluyentes ni alentadores.

Efecto en la Resistencia del Concreto al Congelamiento y Deshielo

De los aditivos minerales finamente divididos el "fly-ash" y otras puzolanas han recibido mayor atención en relación con su efecto en la resistencia del concreto al congelamiento y deshielo. El efecto del "fly ash" y otras puzolanas en la resistencia del concreto al congelamiento y deshielo y a la acción de los productos químicos para deshelar, depende del proporciónamiento del concreto y de lo adecuado de la inclusión de aire al momento de la exposición.

Un concreto con "fly ash" muestra las mismas características de durabilidad que el concreto que no contiene "fly ash" siempre que:

- a) Ambas mezclas tengan igual contenido e aire incluido.
- b) Que ambas mezclas tengan la misma resistencia a la compresión

Generalmente el uso de aditivos minerales finamente divididos hace necesaria una proporción más alta de aditivo incluso de aire para producir el contenido de aire requerido en un concreto comparable que no contenga el aditivo mineral finamente dividido.

Efecto en la Permeabilidad

La mayor parte de los estudios que se han hecho sobre la permeabilidad del concreto con aditivos minerales finamente divididos, han sido llevados a cabo con puzolanas. Ciertas puzolanas son más efectivas que otras para reducir la permeabilidad del concreto a edades tempranas. Sin embargo en la mayor parte de las obras, la permeabilidad del concreto conteniendo cualquier puzolana se reduce notablemente a edades posteriores

El uso adecuado del "fly ash" como aditivo, puede reducir la permeabilidad de una sexta a una séptima parte de la del concreto similar sin "fly ash". Parte de la acción de las puzolanas para reducir la permeabilidad del concreto puede atribuirse a la menor segregación y sangrado y a la reducción de agua requerida.

Aplicaciones en la Construcción

Los aditivos minerales finamente divididos pueden ser usados en casi cualquier tipo de concreto. Estos materiales se usan generalmente para obtener uno o más de los siguientes fines:

- a) Para corregir alguna deficiencia del concreto, por ejemplo, la que proviene de faltantes de finos en el agregado fino, para evitar problemas de manejabilidad y acabado.

- b) Para mejorar una o más de las características del concreto, tal como aumento de resistencia a los sulfatos, para reducir la expansión debida a la reacción álcalis-sílice, para reducir la permeabilidad o para reducir la generación de calor y
- c) Por economía.

Estos aditivos se usan en concreto masivo, concreto estructural, pavimentos y otras losas sobre el terreno. El mayor énfasis ha sido en los siguientes tipos de construcciones: presas, esclusas, revestimientos de canales, sistemas de drenaje, sistemas hidráulicos, estructuras residenciales y comerciales de muchos pisos y concreto residencial incluyendo banquetas y estacionamientos. Por otra parte, se han usado poco los aditivos minerales finamente divididos en pavimento de carreteras, aunque muchos pavimentos experimentales contienen aditivos minerales finamente divididos.

Requisitos y Pruebas

- a) Pruebas Selectivas.- Para cualquier aditivo puzolánico se considerará como prueba selectiva la determinación de su actividad puzolánica con cal hidratada.

Esta determinación se conducirá conforme a lo indicado en la sección 12 (n) de las especificaciones ASTM para cemento Portland-Puzolana (designación C 340). La resistencia promedio de los especímenes de prueba, calculada conforme a la sección 12 (n), se tomará como el índice de actividad puzolánica con cal hidratada, para el cual se requerirá un valor mínimo de 55 kg/cm².

Los materiales que produzcan una resistencia menor de 55 kg/cm² en esta prueba, quedarán eliminados. Los que produzcan

can una resistencia mayor de 55 kg/cm², se someterán a las pruebas normales de calidad antes de aceptarlos.

- b) Pruebas Normales.- Las pruebas normales para verificar la aptitud de un material puzolánico para su empleo como aditivo de lechada, morteros o concretos en una obra, están divididas en dos clases; las pruebas para verificar sus características intrínsecas y las pruebas para determinar su comportamiento. Las primeras se verifican directamente sobre una muestra del material propuesto y sus resultados serán de valor absoluto. La segunda se determinarán sobre especímenes obtenidos de mezclas de prueba conteniendo el aditivo puzolánico, cuyos resultados se compararán con los especímenes obtenidos de mezclas-testigo que no contenga el aditivo.

Las características intrínsecas que habrán de verificarse normalmente en los aditivos puzolánicos y sus límites recomendados se consignan en la Tabla I

ADITIVOS PUZOLANICOS CARACTERISTICAS NORMALES.

Características	Métodos de Prueba	Puzolana Natural	Ceniza-Volante
1) Requisitos químicos			
Si O ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	ASTM C 131	70.0 mín.	70.0 mín.
SO ₃ (%)		3.0 máx.	5.0 máx.
Pérdida por calcinación		10.0 máx.	12.0 máx.
Contenido de humedad (%)		3.0 máx.	3.0 máx.
2) Finura: Diámetro medio de partícula (micras)			
Retenido en malla Nº 325 (%)	ASTM C 402	9.0 máx.	9.0 máx.
	ASTM C 430	12.0 máx.	
3) Sanidad			
Cambio de long. (%)	ASTM C 311	0.50 máx.	0.50 máx.

- c) Pruebas Opcionales.- Existen ciertos minerales que son reconocidos como potencialmente reactivos con los álcalis del cemento. Cuando estos minerales se hallan presentes en los agregados del mortero o del concreto de una obra y el cemento por emplear es de alto contenido de álcalis (más de 0.6%), puede temerse una reacción deletérea.

Algunos materiales con propiedades puzolánicas también son adecuados para inhibir esa posible reacción. De ahí que - cuando se requiera emplear un aditivo con esos fines, debe verificarse su aptitud real para limitar esa reacción.

Es posible que un material propuesto como puzolánico pase las pruebas selectivas y normales, pero no alcance a reducir suficientemente la reacción álcalis-agregado, en cuyo caso puede ser aprobado siempre que esta propiedad no se considere esencial para la obra en particular.

Por el contrario si un material reduce convenientemente la reacción álcalis-agregado pero deja de satisfacer alguna de las pruebas selectivas o normales, no podrá ser aprobado como aditivo puzolánicos.

Las pruebas normales para determinar el comportamiento de los aditivos puzolánicos y sus límites recomendados se incluyen en la Tabla II

ADITIVOS PUZOLANICOS PRUEBAS NORMALES

Requisitos	Métodos de Prueba	Puzolana Natural	Ceniza-Volante
1) Requerimiento de agua (%) (Mezcla-testigo=100)			
Mezcla de Prueba =	ASTM C 402	115 máx.	105 máx.
2) Cambio en la contracción por secado a 28 días (%) (Mezcla-testigo = C_T) (Mezcla de prueba = C_p)	ASTM C 402		
$C_p - C_T$		0.03 máx.	0.03 máx.
3) Actividad puzolánica con cemento Portland (%) (Mezcla-testigo = 100)	ASTM C 402		
MEZCLA DE PRUEBA =		75 mín.	85 mín.

En las pruebas para determinar el comportamiento de un aditivo puzolánico propuesto para una obra, deberá usarse el cemento - Portland destinado a esa obra.

c) Pruebas Opcionales.- Se considerará como prueba opcional - de calidad para los aditivos puzolánicos la de reactividad con los alcalis del cemento.

Las pruebas de reactividad con los álcalis del cemento consistirán en determinar la expansión a 14 días de barras de mortero fabricadas conforme a lo indicado en el inciso 8 - (k) del Método ASTM C 402 y en medir la reducción de expansión del mortero fabricado conforme a lo indicado en el inciso 8 (j) del mismo método ASTM C 402.

5.3.- Agentes de Cristalización

La teoría de los gérmenes se basa en un fenómeno físico bien conocido. El desencadenamiento de una precipitación cristalina en un medio sobresaturado se activa y dirige en alguna forma por la insemínación de microcristales de tipo apropiado, aún en muy pequeña cantidad; estos microcristales se multiplican, se reproducen y dan lugar a formaciones cristalinas que se enlazan progresivamente.

En un sistema tan complejo como el cemento en un medio acuoso, la estructura y la configuración definitiva de un sistema cristalino (es decir con un cierto grado de endurecimiento y habiendo llegado a sus valores finales) quedan bajo la dependencia estrecha de todos los factores que influyen la formación de diversos tipos de cristales, a la vez que la coagulación más o menos densa de elementos coloidales. La orientación y el progreso de las estructuras cristalinas varían según las concentraciones de los elementos en solución o dispersados y por lo tanto conforme a la viscosidad y rigidez del medio.

El principio de la insemínación o siembra para provocar o desencadenar la cristalización de soluciones sobresaturadas de cemento no es una novedad.

Sin embargo, por el año de 1955 el profesor Duriez presentó un estudio para utilizar esos cristales en la orientación intencional de las coagulaciones coloidales y de las cristalizaciones en la masa de los cementos, morteros y concretos hidráulicos con el objeto de acelerar el endurecimiento y de esa manera aumentar también las resistencias finales.

Los gérmenes cristalinos, su dosificación y finura. Los gérmenes cristalinos experimentales han sido seleccionados entre ce-

mentos del mismo tipo que el del concreto, pero ya antes endurecidos y molidos. También se han usado cementos de tipos semejantes y aún de tipos y fabricación completamente diferentes. La proporción considerada como óptima es relativamente baja, -- un 2% como promedio del cemento en peso. El grado de finura -- de la molienda tiene que ser cuando menos la del cemento activo, pero es mucho más eficaz la "inseminación" del concreto si el agente de cristalización es más fino, lo cual se puede conseguir por un proceso de fabricación adecuado.

La molienda se puede hacer junto con el clinker del cemento -- nuevo, en cuyo caso se produce un cemento especial de una calidad relativamente fácil de controlar. En cambio, si se utiliza en la obra misma, como aditivo, los resultados que se obtengan pueden no ser siempre satisfactorios.

Efecto de los Gérmenes en la Resistencia del Concreto

En las pruebas de laboratorio y durante años de investigación se han alcanzado resistencias sorprendentemente más elevadas, en los concretos tratados, que las que pueden obtenerse con -- aditivos dispersantes u otros reductores de agua; aunque hasta ahora no se han podido usar en obras no experimentales debido a las enormes dificultades que se presentan en la selección -- apropiada de los cementos endurecidos.

El tratamiento de los gérmenes con cloruro de calcio produce -- un agente de cristalización "activado" muy eficaz para lograr altas resistencias finales y a edades tempranas sin peligro de aumentar la retracción o la "hinchazón" de morteros o concretos. También se han experimentado agentes de cristalización -- moliendo muy finamente cementos Portland que se han endurecido en autoclave a muy altas temperaturas. Pero, tampoco en estos

casos se pueden esperar resultados seguros en las obras.

Conclusiones.- Es interesante observar que los gérmenes de cristalización no necesariamente tienen que ser adicionados al concreto, pues se ha precisado que tales gérmenes se crean, de hecho, durante el proceso de re-vibrado de un concreto que ya ha iniciado su etapa de fraguado. La nueva vibración al romper la incipiente estructura cristalina difunde en toda la masa del concreto en estado ligeramente pastoso millones de semillas microscópicas que activan la formación de cristales y la coagulación del medio coloidal, el gel del cemento.

Compatibilidad de los Materiales Pulverizados con otros Aditivos en el mismo Concreto

Los materiales finamente pulverizados que se han mencionado son plastificantes del concreto y por lo tanto, quedan comprendidos en el primer grupo de aditivos junto con los inclusores de aire, los dispersantes y los densificadores, con los cuales son perfectamente compatibles y aún de efectos que se complementan o acumulan. Sin embargo la selección de otros aditivos mejoradores de la manejabilidad del concreto, que a su vez son reductores de agua es preferible a la de aditivos que pueden necesitarse mucho más agua para hidratarse, como las puzolanas y por este motivo las combinaciones que se pretendan hacer de ambos tipos de plastificantes deberán estudiarse cuidadosamente tanto en los laboratorios centrales como en el campo, a pie de obra. Tómese en cuenta, en principio, que las puzolanas no son para uso estructural sino para grandes masas de concreto y en ese caso sí es conveniente emplearlas simultáneamente con aditivos dispersantes, retardantes o acelerantes y con un agente de expansividad en caso necesario. Otros materiales cementante o inerte finamente molidos pueden usarse con los demás tipos de aditivos, según las características que se desee dar al

concreto, sin que por regla general haya reacciones indeseables entre unos y otros. No obstante, siempre hay que someter a todos los concretos que se proyecten para distintos objetos a las pruebas aconsejables en cada caso.

6.- AGENTES DE ADHERENCIA

Re-emulsionables

no re-emulsionables

El objeto de estos aditivos es aumentar la adherencia entre concreto nuevo y concreto "viejo" mediante modificaciones a las propiedades del nuevo concreto. Este procedimiento es útil cuando se trata de remendar o resanar concreto ya endurecido, erosionado o deteriorado o bien cuando se trata de agregar capas delgadas de concreto o mortero, generalmente en pisos de concreto en industrias, talleres, bodegas, aceras, etc. También se ha encontrado que estos aditivos son útiles en la fabricación de pinturas a base de cemento blanco, o en pastas de cemento yeso o estuco para aplanados tanto en el interior como en el exterior de casas y edificios.

Los aditivos de este tipo son, por lo general emulsiones con algunos materiales orgánicos, que también pueden aplicarse superficialmente sobre el concreto viejo antes de colar el nuevo encima. Los más comunes son a base de hule o de hule sintético, látex o cualquiera de una gran variedad de polímeros o copolímeros orgánicos que pertenecen al género de los plásticos, como el cloruro de polivinilo, los acrílicos y los copolímeros butadienoestireno.

Los aditivos de este grupo son de dos categorías: los reemulsionables y los no reemulsionables. Estos últimos son resistentes al agua y por lo tanto, son más apropiados para exteriores o donde prevalece un ambiente húmedo.

Es muy importante, el seleccionar un aditivo de este grupo y considerar su capacidad para endurecer al contacto con concreto mojado.

Márgenes de dosificación.- Estas emulsiones se adicionan al concreto en proporción de 5 a 20% en peso, con relación al cemento; pero depende del tipo de mezcla que se trate de adherir y la clase de trabajo por ejecutar. Con frecuencia incluyen aire en la mezcla y le dan una consistencia pegajosa. Su efectividad depende en mucho, del grado de limpieza y dureza de la superficie de contacto entre los concretos que se trata de unir.

Las emulsiones son casi exclusivamente, para emplearse como aditivos en el concreto o en los morteros y pastas. En cambio los epóxidos y otros polímeros son adherentes para aplicarse como acabados sobre el concreto o como adhesivos superficiales razón por la cual no se tratan en estos apuntes ya que no son propiamente aditivos para el concreto.

7.- ANTICORROSIVOS DEL CONCRETO Y DEL FIERRO

Protectores del concreto

Protectores del fierro

Corrosión del Concreto

Debe mencionarse en primer lugar la corrosión por los sulfatos. Esta puede deberse a la presencia de yeso en el concreto, pero lo más común y peligroso son las aguas sulfatadas.

El ataque por los sulfatos puede ser también debido al hidrógeno sulfurado.

Este gas que se forma en los procesos de descomposición y se desprende de las aguas negras, se transforma sobre el concreto en ácido sulfúrico.

fúrico.

Los sulfatos de magnesio y de amonio atacan al hidrato cálcico. El sulfato de magnesio, contenido en grandes cantidades en el agua de mar, es terrible destructor de las obras marítimas.

En resumen el control de las sustancias nocivas que se encuentran en solución en el agua se reduce; al pH (o grado de acidez), al CO_2 - anhídrido carbónico (que puede disolver el calcio) a los sulfatos y sulfuros y a las sales de magnesio y de amonio.

Las sustancias nocivas para el concreto pueden ser peligrosas aún en pequeñas concentraciones cuando se encuentran repetidamente en contacto con el concreto endurecido, pero generalmente menos perjudiciales cuando se encuentran en el agua de mezclado con la que se prepara el concreto. Sin embargo, el caso de los compuestos de azufre es diferente, su influencia se hace sentir principalmente después de - largo tiempo como "expansión por yeso", que puede ser un daño grave. Este ataque es debido a los sulfatos; los sulfuros se oxidan al aire y pueden transformarse en sulfatos en ambiente húmedo.

Para prever el comportamiento del concreto o de un mortero en cuya composición hay exceso de sulfatos, es necesario saber si van a estar expuestos a sucesivos humedecimientos. La simple pasta de cemento con un alto contenido de sulfatos no acusa ninguna expansión si - no está expuesta a la acción del agua. Cuando se mezcla cemento - Portland al yeso de aplanar o estucar, para que ésta adquiera mayor dureza en poco tiempo, no causa ningún daño si no se vuelve a humedecer; pero si esto sucede por ejemplo, con vapor de agua en baños o fábricas, o bien si se ha utilizado en fachadas expuestas a la intemperie se presentarán deterioros de importancia.

Los Cloruros y los Nitratos

Hay sales inorgánicas que no corresponden a los compuestos de azu-

fre y que se presentan como impurezas de los agregados como los cloruros que se encuentran en el ambiente marino.

También los nitratos fácilmente solubles en aguas y que se encuentran en los fertilizantes sintéticos y residuos industriales, son perjudiciales si exceden proporciones mayores al 1% del cemento en peso.

Los nitratos en mayor proporción que la indicada son un peligro por la oxidación de refuerzo, cuando la obra se encuentra expuesta a la humedad.

Los fenómenos de descascaramiento y destrucción superficial del concreto por congelación y descongelación no son propiamente de corrosión pero sí las debido a la acción de las sales descongelantes como por ejemplo: el cloruro de calcio.

Reacción de los Agregados con los Alcalis

Quando los agregados del concreto principalmente la grava provienen de rocas que reaccionan con los álcalis, sufren aumentos de volumen que provocan la desintegración del concreto. Este es el caso de los feldspatos y los esquistos, etc., que se alteran con los álcalis del cemento que se van liberando durante su hidratación. Por lo tanto es necesario evitar el uso de estos agregados reactivos si fuera posible, o reducir los álcalis del cemento. Esto último se consigue en parte usando cementos con bajo contenido de álcalis, como el tipo II modificado o el tipo V pero además, se pueden usar aditivos auxiliares y seguir algunas indicaciones durante la preparación del concreto.

7.1.- Protección del Concreto Contra la Corrosión

Silicatización. Para dar resistencia al concreto contra la acción de los agentes disolventes como el agua pura, se le puede dar un tratamiento con vapor a presión; pero desgraciadamente sólo puede aplicarse en los elementos estructurales prefabricados. Los hidrosilicatos pobres de cal que se forman en presencia de la arena de cuarzo molida finamente y durante el tratamiento con vapor a presión, acusan una resistencia contra el agua pura y los ácidos débiles no se logra con ningún otro aditivo.

Hay una acción de los sulfatos que produce más expansiones locales a las que se dá el nombre de "bacilo del cemento" atribuibles al aluminato tricálcico.

Se puede reducir sin embargo el contenido de este componente - de tal modo que toda la alumina pase al estado de ferroaluminato-tetracálcico, bastante más resistente al ataque químico, mediante la adición de óxido de fierro en la mezcla cruda.

Cementos Ferrari

Estos cementos especiales excentos de C_3A se conocen en Europa con el nombre de "cementos ferrari". La mayor resistencia del Ferro-aluminato-tetracálcico (C_4AF) se atribuye a su capacidad para reaccionar con la sílice y formar "hidrogranates".

La resistencia del concreto a los sulfatos puede lograrse también hasta cierto grado, con el uso del cemento Portland tipo V, ya que es difícil, si no imposible obtener en el mercado el cemento ferroso, el cual se fabrica solamente sobre pedido - cuando el volumen solicitado lo amerita. También pueden usarse con seguros resultados bastantes satisfactorios los aditivos inclusores de aire, solos o en combinación con el cemento tipo

V, principalmente para evitar el efecto de los fenómenos de congelación en el concreto y protegerlo contra la acción de las sales anticongelantes.

En obras marítimas la combinación del cemento apropiado, inductor de aire, repelentes o dispersantes y agregados inertes, producen concretos muy resistentes a la corrosión.

Aditivos que impiden las reacciones de los agregados con los álcalis del cemento.- En este grupo se incluyen algunos aditivos que impiden o contrarrestan la expansión de los agregados químicamente activos al reaccionar con los componentes alcalinos del cemento. Entre estos productos se encuentran ciertas sales de bario que se emplean en dosis entre 1 y 7% del cemento, también se logran reducciones de expansión con ciertas proteínas inclusoras de aire y con algunos reductores de agua, con ciertas puzolanas y con retardantes de fraguado. Algunas de estas sustancias son mejores reductores de expansión que las otras, aunque no hay suficientes datos todavía.

También parece que los inductores de aire a base de resinas bajan la reacción álcali-agregados.

7.2.- Corrosión del Fierro de Refuerzo

Algunos autores aseguran que el concreto da suficiente protección al fierro de refuerzo embebido en él, excepto cuando las aguas se infiltran hasta el fierro, lavando las sales liberadas del cemento en la forma de cal o hidróxido de cal.

El problema de la corrosión del fierro en el concreto se ha limitado al de las estructuras expuestas a aguas salinas o a los suelos que contienen cloruros que puedan llegar hasta el fierro por impregnación del concreto o a través de grietas y fisu

ras. Por eso es indispensable usar los aditivos adecuados para contrarrestar la absorción del concreto, además de los recomendables para reducir el agua de colado.

Quando el agua cargada de cloruros es capaz de saturar al concreto y llegar hasta el fierro, puede producir la oxidación de éste si tiene periodos de aireación, como sucede en las estructuras marinas, que se mojan durante la marea alta y se secan en la marea baja. La oxidación del fierro de refuerzo lo hace aumentar de volumen, lo que produce agrietamientos muy peligrosos en el concreto hasta su desintegración total y la falla definitiva de la estructura.

7.3.- Protección del Fierro de Refuerzo Contra la Corrosión

Según la patente Dougill, se aconseja usar benzoato de sodio al 2% en solución en el agua de colado, como inhibidor de la corrosión del fierro, o bien en una lechada de cemento y agua al 10% como pintura de fierro, con la ventaja de que no reduce la adherencia del concreto y evita la oxidación.

Los técnicos japoneses han estudiado la corrosión del fierro en el concreto expuesto a corrientes eléctricas, ya sea continuas o alternas. Se han encontrado que se produce solamente una ligera corrosión cuando no tiene aditivos pero en cambio, cuando contiene cloruro de calcio, la corrosión llega a ser intensa y puede causar la destrucción de la estructura. Sin embargo, también se ha comprobado que el lignosulfonato de calcio como aditivo contrarresta en gran parte la acción del cloruro.

Quando sea preciso usar acelerantes de la resistencia del concreto en piezas precoladas o en estructuras que vayan a curar-

se en autoclave o en vapor, es conveniente usar otros tipos de acelerantes, ya que el cloruro de calcio produce la oxidación del fierro durante la aireación que sigue al curado.

Son aconsejables: el cloruro de estaño, el cloruro férrico o el triosulfato de sodio; pero su empleo requiere estudios especiales y numerosas pruebas de laboratorio con el cemento y los agregados que se vayan a utilizar y reproduciendo las condiciones más desfavorables de acción eléctrica que puedan presentarse.

Por su parte, los técnicos rusos sugieren el empleo de nitrito de sodio en proporción del 2% del cemento del cloruro de calcio sobre el fierro durante la manufactura de la pieza estructural que se someta al curado de vapor.

En conclusión, cuando se tenga que acelerar el endurecimiento del concreto reforzado y éste vaya a ser curado en autoclave, como sucede con muchas piezas estructurales precoladas que tienen fierro de refuerzo, no debe usarse el cloruro de calcio en ninguna forma, pues hasta ahora, no se ha encontrado que los inhibidores de la corrosión ofrezcan seguridad absoluta.

8.- COLORANTES Y ESTERILIZANTES

Un grupo de aditivos que tiene particularidades definitivas y cuyos integrantes no se pueden considerar en otros grupos anteriormente descritos, es el de los colorantes o pigmentos.

Estos aditivos se usan exclusivamente en el mortero que se coloca sobre un firme de concreto, una losa o alguna otra estructura, para dar un cierto "acabado" o presentación adecuada. Los materiales que se emplean en estos aditivos son generalmente minerales, que tiene -

que satisfacer determinados requisitos, entre los cuales los más importantes son:

- a) Que el color se fije o afirme cuando esté expuesto a la luz solar
- b) Que el colorante sea estable en presencia de la alcalinidad
- c) Que no tenga efecto negativo en el tiempo de fraguado o en el endurecimiento del concreto
- d) Que el color permanezca inalterable en los productos que se sometan a curado en autoclave.

En la tabla, a continuación, se da una idea de la composición de algunos de los colorantes más usuales.

Rojos: Oxido rojo de fierro.

Amarillo: Oxido amarillo de fierro (ocrillo).

Ocre: Oxido ocre de fierro.

Negros y grises: Oxido de fierro. Negro de Humo.

Negro mineral.

Verdes: Oxido de cromo, 98% puro.

Azules: Azul cobalto 98% puro y libre de sulfatos. El azul ultramarino no es estable.

Marfil o crema: Ocrillo en baja proporción.

Blanco: Dióxido de titanio.

Los pigmentos inorgánicos apropiados para dar coloración al cemento se usan en proporciones que varían entre el 2% y 10% en peso, pero no en mayor cantidad, salvo en raras excepciones y cuando el fabricante de la materia colorante garantice que no tiene el producto ningún efecto nocivo en el mortero o en el concreto.

La mayor parte de los pigmentos se obtienen de tierras naturales, aunque hay en el mercado materiales sintéticos que son más uniformes y de colores más firmes y claros, no obstante que por lo general son bastante más caros.

Modo de Prepararse y Usarse

Los colorantes deben mezclarse con el cemento o con el mortero en seco, antes de entrar a la revolvedora, pesando cuidadosamente las proporciones de cada componente para lograr revolturas sucesivas uniformes e iguales en colorido. También pueden adicionarse los pigmentos al concreto en la revolvedora, antes de agregar el agua, pero siempre que se use también un aditivo dispersante adecuado. Naturalmente que se deben hacer algunas pruebas previas para determinar la intensidad de la coloración, la cual varía con la cantidad de agua y el método que se emplee al aplicar el enlucido fino o acabado de la superficie y con el sistema de curado a la que ésta se someta.

Los colorantes pueden usarse, en combinación con el cemento, para extenderse en forma de polvo sobre el concreto fresco, pero cuando la resistencia a la abrasión sea de vital importancia, como en los pisos de fábricas, escuelas, aceras y lugares de mucho tránsito, los colorantes deben usarse siempre como aditivos en todo el espesor de la capa de mortero superficial que debe colocarse antes de que endurezca el firme de concreto.

A veces el color se va empañando al secarse el acabado por cierta eflorescencia pero puede quitarse fácilmente puliendo los pisos o las partes de obra tratados para lograr el efecto deseado.

Quando se usa el negro de humo o "carbón-black" conviene adicionar un inductor de aire al mortero para evitar la segregación de este producto durante el fraguado. Generalmente se obtienen resultados satisfactorios con proporciones de 1/2 a 1% de colorantes.

Por supuesto que para los colores claros se consiguen mejores efectos con cemento blanco que con cemento gris, además de que se obtiene mayor plasticidad. También es conveniente usar grano fino de mármol en vez de arena común al hacer el mortero.

Existen en el mercado pinturas a base de cemento blanco con el pigmento y el aditivo adecuado para una buena dispersión. Estos productos pueden aplicarse sobre superficies terminadas con cepillos, brochas de pelo o brochas de aire pero siempre es preferible usarlos como aditivos en los morteros de acabado y aún especiales, principalmente en piezas precoladas.

Efecto

La dosificación de cualquier pigmento normalmente no debe exceder del 10% del peso de cemento. Los pigmentos naturales normalmente no molidos finamente y casi siempre no tan puros como los materiales sintéticos, generalmente no producen color intenso por unidad de adición.

Dosificaciones abajo del 6% generalmente tienen poco o ningún efecto en las propiedades físicas del concreto fresco o endurecido. Cantidades mayores pueden aumentar los requisitos de agua en la mezcla a tal grado que la resistencia a la abrasión pueden ser disminuidas.

La adición de negro de humo no modificado, aumentará considerablemente la cantidad a añadir de aditivo incluso de aire necesario para obtener un contenido de aire suficiente para dar al concreto resistencia adecuada al congelamiento y deshielo. Sin embargo, muchos negros de humo disponibles para colorear concreto, contienen productos inclusores de aire en cantidad suficiente para anular el efecto de inhibir el negro de humo.

Requisitos Generales

Los aditivos colorantes aceptables deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- 1.- No debe haber decoloración con la luz solar.

- 2.- Deben ser químicamente estables en presencia de alcalinidad producida por la reacción del cemento.
- 3.- Estabilidad de color ante la exposición en autoclave.
- 4.- No debe haber efectos perjudiciales en el tiempo de fraguado o en el desarrollo de resistencia del concreto.

Frecuentemente la eflorescencia o salitre origina problemas que se confunden con descoloramiento. La ASTM está actualmente desarrollando especificaciones para pigmentos para colorear concreto.

Agentes Esterilizantes

Aunque todavía no son de uso corriente ciertos materiales o productos químicos, pueden molerse junto con el cemento o usarse como aditivos, generalmente en morteros, para darle propiedades fungicidas, germicidas o insecticidas.

Estos aditivos pueden ser útiles en sótanos poco ventilados en fuentes, jardineras y otras estructuras que estén en contacto con tierra que contenga materia orgánica y esté constantemente húmeda, las cisternas y depósitos de agua subterráneos y muchas otras construcciones requieren cierta resistencia contra la propagación de hongos, gérmenes o insectos nocivos para la salud.

Pero donde tienen una aplicación muy especial es en los muros de concreto, enlucidos y aplanados de mortero de los hospitales, principalmente en los pabellones de infecciosos y en las instalaciones generales de los mismos como los drenajes y los pavimentos.

Entre estos materiales o productos químicos se han ensayado diferentes fenoles polialogenados, la emulsión dielden y algunos compuestos de cobre como el sulfato de cobre común o alcaparrosa. Estos aditivos no tienen por lo general influencia en la resistencia y du-

rabilidad de concreto pero forman un grupo que es necesario tener en cuenta ya que en ciertas circunstancias son de una importancia indiscutible.

Con este grupo se termina la relación de los aditivos para concreto.

Tipos de Materiales

Los materiales que se han encontrado como más efectivos son:

Fenoles polialogenados.

Emulsión de dieldren.

Compuestos de cobre.

Efecto

Los límites de adición en cantidades del 0,1 al 10% por peso del cemento depende de la concentración y composición del producto químico. Adiciones superiores al 3% pueden tener efectos perjudiciales en la resistencia del concreto. Se informa que la efectividad de estos materiales, particularmente de los compuestos de cobre es de naturaleza temporal. Esto varía probablemente con el tipo de uso y de los procedimientos de limpieza empleados.

C A P I T U L O I I I
C O N C R E T O S C O N A D I T I V O S

Los aditivos son productos añadidos a la mezcla diferentes de los demás ingredientes del concreto con el propósito de lograr ciertas cualidades del mismo; pero también permiten que un concreto alcance ciertas propiedades especiales que no podrían obtenerse de ninguna otra forma.

Los concretos con aditivos deben de considerarse dentro del campo de la especialización que es indicativa de un proceso muy avanzado en materiales o técnicas que ya han sido investigadas o desarrolladas ampliamente.

1.- CONCRETOS FLUIDIFICADOS

Aumentar la trabajabilidad de una mezcla sin aumentar el agua es indudablemente una ventaja en el concreto, ya que se ha llegado a determinar que casi todas las propiedades de una mezcla se mejoran a medida que se reduce esa cantidad de agua. Los aumentos de agua necesarios o no, empobrecen todos los resultados de los ensayos que se le hacen a un concreto. En combinación con agregado grueso de tamaño pequeño de 20 mm., estos concretos se usan en donde es difícil la colocación del mismo como son aquellas secciones sobrerreforzadas con un exceso de varilla, etc.

También son usados en los casos de concretos bombeables y otros que requieren una alta consistencia porque así lo necesita el medio mecánico de transporte hasta las cimbras.

Los fluidificantes pueden emplearse para bajar el costo de un concreto, ya que para un revenimiento dado, los concretos con estos aditivos requieren de una menor cantidad de agua, lo cual permite el ahorro en la cantidad de cemento. Estos ahorros no deben determinarse sin antes haber probado extensamente esta propiedad.

2.- CONCRETOS ACELERADOS

Por medio de aditivos el tiempo de fraguado puede ser variado desde solo 15 segundos hasta varias semanas de tal manera que se pueda determinar de antemano. Esto puede realizarse aún por muy complicado que sea un problema, por lo tanto, el uso de los aditivos acelerantes y retardantes es una herramienta muy valiosa para la construcción.

Los acelerantes se usan principalmente en los casos de protección al concreto de las heladas, para permitir el uso más rápido de la cimbra, para poner en servicio el concreto lo más pronto posible, para endurecer el concreto en temporadas de frío muy intenso. Su uso está limitado a una cierta cantidad no mayor del 2% del peso del cemento, en el caso del cloruro de calcio. Un exceso de estos aditivos - puede ocasionar una baja en la resistencia final del concreto.

3.- CONCRETOS RETARDADOS

Aquí se hace muy necesario hacer una aclaración; el tiempo de fraguado se define de muy diversas maneras. Para algunos significa el tiempo en que el concreto pierde su consistencia o su trabajabilidad; para otros cuando el concreto colado en un piso o una losa puede aplicarse la mano de acabado; cuando la presión en las cimbras cesa y, - aún, se define como el tiempo en que se puede decimbrar con seguridad. Todas estas definiciones plantean problemas muy importantes para el ingeniero, contratista o suministrador de concreto, pero en cualquier caso el tiempo de fraguado tiene una definición dada por la - ASTM. Sin embargo, la definición del tiempo de fraguado es bastante amplia, incierta y arbitraria. El fraguado inclusive, para pastas - de cemento puro es un proceso continuo. Cuando se hacen pruebas de tiempo de fraguado se toman puntos arbitrarios; por ejemplo; para el cemento Portland estos puntos se encuentran fácilmente en el laboratorio por medio del uso de las agujas de Vicat o Gillmore; pero estas pruebas no ofrecen al ingeniero o contratista más que una pequeña -

información en los problemas de campo, acerca del endurecimiento o resistencia que necesiten para determinados propósitos; esto sucede porque en el laboratorio se usan relaciones agua/cemento que muy rara vez se usan en el campo, la temperatura y humedad del laboratorio son siempre uniformes y todo está estandarizado.

Los retardantes pueden modificar este tiempo de fraguado dando un servicio en obras, pero antes deberá probarse para determinar las propiedades adecuadas para este servicio específico.

Se usan para determinar condiciones que no son posibles por medios físicos o de otra naturaleza en los colados en climas cálidos, como son la ausencia de cementos de baja generación de calor, la imposibilidad física y económica de enfriar los agregados para estos pequeños colados.

Pero su uso ha llegado a dar servicios que no podían lograrse de otra manera, por ejemplo: en la construcción de un puente en el estado de Florida de la Unión Americana, para evitar agrietamientos debidos a la deformación de la estructura falsa en un arco de 24 metros de claro en uno de los accesos del puente, se usó el siguiente procedimiento: estaba calculado que las vigas de acero de 90 cm., de peralte se deformaría 4 cm., con el peso del concreto colado, la capacidad de producción y colocación del concreto de las instalaciones flotantes era de 8 metros cúbicos por hora.

La cimbra se deformaría continuamente y parte de esta deformación ocurriría cuando las primeras capas de concreto ya no serían plásticas, presentándose las grietas. Se retardó el fraguado del concreto usando una cantidad de aditivo retardante en las capas inferiores y otra menor en las capas superiores. El colado duró 8 horas, entonces la viga de arco de 4.5 cm., de peralte fue vibrada por medio de vibradores internos, de esta manera la viga fue colada y endureció como una unidad monolítica y sin grietas.

4.- CONCRETOS IMPERMEABILIZADOS

La hidroscofia y la porosidad de un concreto plantean infinidad de problemas que son resueltos por medio de la inclusión de los llamados "impermeabilizantes integrales".

Su inclusión no puede compensar las fallas producidas por prácticas que no son las de una buena elaboración de un concreto o de un colado.

En el pasado se asignaba un papel al repelente al agua que era imposible que hiciera impermeable un concreto mal graduado, poroso, de composición muy inferior.

A través de la ruptura de la tensión superficial del agua, estos impermeabilizantes logran modificar la capilaridad de un concreto, cambiando de negativa a positiva.

El agua resbala por la superficie de concreto evitando la absorción de la misma, por lo cual son sumamente efectivos en los concretos expuestos a la acción del agua freática o en concretos expuestos a los cambios de nivel de agua, etc. Su acción está limitada al uso de buenas prácticas de construcción, en el caso de impermeabilizantes en tanques y cubiertas con agua a presión en la pared contraria.

Las juntas elásticas, el buen vibrado, las mezclas adecuadas y el buen curado son procedimientos que nunca deben omitirse.

5. CONCRETOS DE COLOR

Actualmente se extiende el uso de los concretos de colores integrados en el concreto. Los colorantes y el uso de agregados con determinados colores se solicitan continuamente en muy diversas combinaciones.

El uso de los agregados son el negro y el blanco; en el primer caso son agregados basálticos negros y en el segundo son de piedra de mármol blanco.

Estos concretos se han conseguido con un costo no muy elevado. Pueden fabricarse otros colores con colorantes no muy caros y - de hecho está pendiente en su colocación una serie de pruebas - para obtener tonalidades permanentes, que el color sea estable en un medio alcalino como es el concreto y que no tenga efectos sobre el tiempo de fraguado. Los probados aunque sean en morteros son los siguientes:

Rojo: Oxido rojo de fierro.

Amarillo: Oxido amarillo de fierro (ocrillo)

Ocre: Oxido ocre de fierro.

Negro y gris: Oxidos negro de fierro.

Negro de humo: Negro mineral.

Verde: Oxido de cromo, 98 por ciento puro.

Azul: Azul cobalto 98 por ciento puro libre de sulfatos.

El azul ultramarino no es estable.

Marfil o crema: Ocrillo en baja proporción.

Blanco: Dióxido de titanio.

Los pigmentos inorgánicos apropiados para dar coloración al cemento se usan en proporciones que varían entre el 2 y 10% en peso, pero no en mayor cantidad salvo en raras excepciones y cuando el fabricante de la materia colorante garantice que el producto no tiene efecto nocivo alguno en el mortero o en el concreto.

La mayor parte de los pigmentos se obtienen de tierra natural, aunque hay en el mercado materiales sintéticos que son más firmes y de colores más uniformes y claros no obstante que, por lo general, son bastante más claros.

6.- CONCRETOS CON EXPANSORES

La expansión de un concreto tiene dos objetos; estabilizar el volumen del concreto compensando la contracción para el secado y fraguado; o bien garantizar la introducción del concreto en un sitio cerrado herméticamente.

El primer caso se consigue generalmente con la oxidación de partículas de hierro, que al efectuar ciertas reacciones con el cemento aumenta su volumen en una cantidad definida y en forma estable. La oxidación del hierro deberá garantizarse, así que no deberán usarse acelerantes que sequen muy rápidamente el concreto; es necesario usar un curado con agua durante el proceso de endurecimiento y aún durante algunos días más.

Esta viruta de hierro se usa en una proporción alta de contenido de cemento, por lo cual el costo de estos concretos es alto y se utiliza en aquellos casos en que el volumen es pequeño, como por ejemplo bases y pedestales de maquinaria, de columnas, en rellenos de grietas, empaques de tuberías, de anclas, etc.

El segundo caso es el de los generadores de gas; estos aditivos producen una expansión considerablemente mayor que puede llegar a ser del 8 al 12 por ciento de volumen del concreto contra el 1 ó 2 por ciento del caso anterior, pero su generación no es estable en algunos casos si la expansión no es restringida eficazmente puede reducir la resistencia del concreto.

Su efecto es similar a la de la inclusión de aire en el concreto, pero si se restringe, la resistencia puede aumentar. Se usan principalmente en los rellenos de ductos de tensores del concreto presforzado, rellenos para anclaje, etc. Estos expansores son de uso delicado puesto que su acción esta íntimamente ligada con el proceso fraguado.

Generalmente los productos comerciales tienen incluido un retardante del fraguado para prevenir estos efectos nocivos.

7.- CONCRETOS ESTERILIZADOS

Estos concretos, sobre todo en nuestro medio, no son de uso corriente. En su fabricación se utilizan ciertos materiales o productos químicos, que molliéndose juntamente con el cemento o usándose como aditivos, le dan propiedades fungicidas, germicidas o insecticidas.

El uso de estos aditivos es recomendable en sótanos poco ventilados, en fuentes o jardineras que estén en contacto con tierra que contenga materia orgánica.

Su recomendación más importante es en la construcción de muros de concretos, pisos y aplanados de mortero, de los hospitales, principalmente en los pabellones de infecciosos y en las instalaciones generales de los mismos, como los drenajes y pavimentos.

Entre los materiales y productos químicos más usuales dentro de este renglón encontramos los fenoles polihalogenados, la emulsión driedden y algunos compuestos de cobre como el sulfato de cobre común o alcapa rrosa.

Desde luego estos aditivos no tienen por lo general ninguna influencia sobre la resistencia del concreto.

8.- CONCRETOS DE MAYOR RESISTENCIA

Generalmente la durabilidad de los pisos se aumenta con la adición de viruta de fierro debidamente preparada y graduada después del colado del mortero. Esta viruta combinada con fluidificantes, y debido a la necesidad de la construcción de grandes áreas de pisos de fábricas, -

se incluye al concreto en porcentajes elevados obteniéndose concretos de más alta durabilidad.

Existen además otros medios para aumentar la durabilidad de las mezclas ya sea por medio de aditivos o agregados especiales que logran concretos lo más denso posible o con el más bajo requerimiento de contenido de agua.

C A P I T U L O I V

PREPARACION Y DOSIFICACION DE ADITIVOS

1.- Recomendaciones para la preparación y dosificación de los diferentes tipos de aditivos.

ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE

Dosificación.- Para alcanzar la mayor uniformidad de una mezcla de concreto en mezclas sucesivas, se recomienda que los aditivos inclusores de aire se añadan a la mezcla preferentemente en soluciones más - que en polvo.

Generalmente se requieren sólo pequeñas cantidades de aditivo includor de aire para incluir una cantidad deseada de aire, son del orden del 0.05% por peso del cemento del ingrediente activo. Si el aditivo es en forma de polvo, escamas o semisólidos, debe prepararse una solución adecuada antes de usarse siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Si las cantidades de aditivo includor de aire recomendadas por el fabricante no logran que se obtenga la cantidad deseada de aire, es necesario ajustar la cantidad de aditivo añadida. Para cualquier conjunto de condiciones y materiales, la cantidad de aire incluido es casi proporcional a la cantidad de agente usado. Sin embargo, en algunos casos puede llegarse a un tope y puede ser necesario cambiar el - tipo de aditivo includor de aire o conseguir el resultado deseado por otro camino (por ejemplo: cambio de cemento).

Para el almacenaje adecuado de los aditivos inclusores de aire, deben seguirse las recomendaciones de almacenamiento dadas por el fabricante. Los aditivos inclusores de aire usualmente no son dañados por el congelamiento y deben seguirse las instrucciones del fabricante en relación con los efectos de congelamiento de su producto. Después de - terminar las pruebas, un aditivo almacenado por más de 6 meses en el punto de fabricación antes de su embarque, o un aditivo almacenado localmente en manos del proveedor o del contratista, por más de 6 meses,

debe ser nuevamente sujeto a pruebas antes de emplearse, y ser rechazado si no cumple cualquiera de los requisitos aplicables de ASTM C 260.

PROPORCIONAMIENTO DE CONCRETO

El proporcionamiento de concreto con aire incluido es similar al del concreto sin aire incluido. Se recomienda que los métodos de proporcionamiento de concreto con aire incluido sigan los procedimientos - del Comité ACI 211.

Este procedimiento incluye la reducción de agua y arena permisible da do que el concreto con aire incluido tiene mejor trabajabilidad.

La inclusión de aire puede reducir la resistencia. Sin embargo, cuan do se mantiene constante el contenido de cemento y la trabajabilidad, la reducción de resistencia es parcial o totalmente compensada por la resultante reducción en la relación agua cemento. Esto es particularmente cierto para concretos pobres, o aquellos que contienen agregado con tamaño máximo. Tales concretos, por lo tanto, pueden no reducir su resistencia y aún aumentarla por el uso de aire incluido.

ADITIVOS DISPERSANTES

Dosificación.- La dosificación de lignosulfonatos de calcio de sodio o de amonio está comprendida entre 0.26 y 0.36% del peso de cemento. Su poder dispersante medido por medio del cono de revenimiento, con - un cemento Portland normal y una relación agua-cemento de 0.55, y con agregados con buena granulometría, está comprendido entre un aumento del revenimiento desde 4 ó 6 cm. hasta 12 ó 15 cm. El dato anterior es solamente con objeto de dar una idea respecto a la importancia que puede tener el efecto dispersante, pero de ninguna manera debe tomarse como un índice aplicable a cualquier concreto, ya que son varios - los factores que intervienen en la manejabilidad del mismo y algunas veces no dependen de los componentes sino de causas externas.

Elección del Dispersante Adecuado.- La elección del tipo de sustancia dispersante de cemento debe someterse en la práctica a ciertas restricciones, entre las cuales las principales son las que se mencionan a continuación:

En primer lugar, el dispersante debe tener tolerancia al calcio. - Las emulsiones que no son sensibles al ion calcio, además de los sulfatos y los sulfonatos, son las emulsiones catiónicas o Jabones invertidos, es decir aquellos en los que la parte apolar es catiónica.

Enseguida hay que considerar:

1. Es esencial la compatibilidad con los inclusores de aire, tanto por sus efectos respectivos que no deben interferirse mutuamente, como porque no debe haber reacciones químicas entre el dispersante y el inductor de aire cuando se usan en el mismo concreto.
2. El dispersante no debe ser un producto humectante, como los detergentes, los cuales son muy peligrosos porque pueden provocar reducciones rápidas e inesperadas en las resistencias mecánicas del concreto, aunque sean muy buenos detergentes. Estos son los sulfonatos de sodio o de los sulfatos de sodio.
3. El dispersante debe ser neutro con relación a los constituyentes del cemento y no dar lugar a ningún producto extraño aún en largo tiempo.
4. No debe aumentar la contracción a la retracción del concreto.
5. Los errores en la dosificación del dispersante no deben tener consecuencias indeseables. Las dosis excesivas no deben tener ninguna acción perjudicial para el concreto.

6. El uso de los dispersantes no debe complicar la preparación del concreto.
7. Su eficacia debe ser suficiente para poderlos dosificar en pequeña proporción con respecto al cemento, no más de 0,5 a 1%. El producto podrá ser líquido o sólido pero en este caso tiene que ser rápida y fácilmente soluble.
8. El producto deberá tener suficiente estabilidad para poder contener impurezas o cargas inertes excesivas.
9. En fin, no debe ser hipersensible en sus efectos como consecuencia de las pequeñas variaciones inevitables de homogeneidad del concreto.

Los agentes dispersantes, derivados de ácidos, lignosulfónicos son "de por sí", retardantes del fraguado, lo que no tiene ninguna influencia en las resistencias que alcanzan durante el endurecimiento, por lo que se pueden usar muy eficazmente como agentes retardadores, si así se desea, según la dosificación; pero también pueden combinarse con agentes acelerantes, como por ejemplo el cloruro de calcio, para apresurar el endurecimiento. Son compatibles con los agentes inclusores de aire que aumentan la plasticidad; también con los impermeabilizantes integrales, con los expansores y con las puzolanas. En general, los dispersantes son los aditivos que pueden usarse con más confianza, en la mayor variedad de condiciones y casi nunca tiene su empleo alguna contraindicación o prohibición expresa.

ADITIVOS DENSIFICADORES

Dosificación.- Los aditivos densificadores se obtienen, generalmente, en forma líquida. Se pueden usar en concretos hechos con cualquier tipo de cemento Portland independientemente de la cantidad, forma y calidad de los agregados.

Se añaden al agua de colado en proporciones que varía entre 60 y 120 cm^3 por saco de cemento de 50 Kg., cuando la temperatura ambiente y la del agua están comprendidas entre los 18°C y 30°C . Si por alguna circunstancia, accidental o intensional, se excede la dosificación, hasta menos de 240 cm^3 por saco, el retardo del fraguado se prolonga aunque no llega a tener consecuencias desfavorables si se mantiene - bien mojado el concreto hasta que empiece el endurecimiento. En este caso se llegan a obtener resistencias finales más altas.

A temperaturas entre 20°C y 25°C y para una relación agua-cemento de 0.5 se puede esperar, con la adición de un densificador, una reducción de un litro de agua por saco de cemento, manteniendo la misma - manejabilidad de la mezcla.

ADITIVOS ACELERANTES DEL ENDURECIMIENTO

Dosificación.- La cantidad exacta de acelerante que se requiere para obtener la aceleración deseada del tiempo de fraguado y desarrollo de resistencia, depende de las condiciones locales, pero generalmente se añade de 1 a 2% por peso del cemento. El cloruro de calcio debe ser añadido en forma de solución a la mezcla de concreto. La - preparación de una solución estándar con base en cloruro de calcio - seco, requiere que el usuario esté enterado de las concentraciones - diferentes del cloruro de calcio descrito anteriormente.

Proporcionamiento de Concreto.- Las proporciones de la mezcla del - concreto con un acelerante deberán ser las mismas que aquellas que - sin acelerante. Usualmente, se recomienda una dosificación de cloruro de calcio de 2% por peso de cemento Portland.

ADITIVOS GENERADORES DE GAS

Dosificación y Reacción Química.- El polvo de aluminio, agregado al mortero o al concreto, reacciona con el hidróxido de cal libre de cemento durante el fraguado y genera hidrógeno en forma de burbujas di

minutas que son distribuidas en toda la masa. También reaccionan con el cemento, en forma semejante el magnesio y el zinc, pero son menos eficaces que el aluminio. La rapidez e intensidad de la reacción dependen del tipo y de la cantidad de polvo de aluminio que se agregue a la mezcla, así como de la finura del cemento, temperatura, proporción de los componentes y algunos otros factores. El porcentaje de aluminio para tener una compensación de todas las disminuciones de volumen que sufre un concreto desde que se coloca en los moldes hasta que está ya endurecido y seco, es del orden de 0.005 a 0.02% del peso de cemento.

Recomendaciones para el uso de Agentes de Expansión.- El uso de agentes generadores de gas no impide el encogimiento del concreto en el proceso de "secado" que sigue a la suspensión total del curado. Por esta razón los empaques o rellenos deben protegerse convenientemente para que no pierdan su humedad. Esto que parece una dificultad es, sin embargo, un caso frecuente en túneles, cárcamos y muchos otros conductos o recipientes de agua.

En un ambiente caluroso, la reacción del aditivo puede ocurrir demasiado pronto y perder su efecto benéfico; en cambio, a bajas temperaturas la reacción es mucho más lenta, posiblemente no llegue a producir el efecto deseado antes de que el concreto o el mortero se endurezcan. Por lo tanto, el constructor deberá tomar las medidas necesarias para controlar la temperatura del agua de mezclado.

La rapidez de generación de gas se aumenta con la adición de algunos materiales alcalinos. Por lo general, la reacción del aluminio empieza exactamente en el momento de adicionarlo al concreto en la revolvedora y se prolonga hasta una hora y media como mínimo y cuatro horas como máximo. A temperaturas de 30°C o poco más, la reacción se reduce a sólo treinta minutos. Ahora bien, una misma cantidad de aluminio produce generalmente, una expansión doble a 20°C que a 5°C.

Diferentes Preparaciones.- Teniendo en cuenta que, generalmente, se usa una cantidad muy pequeña de aluminio en polvo (como una cucharada), por metro cúbico de concreto, y dada su tendencia a flotar en el agua, por su consistencia grasosa y su poco peso, conviene usarlo con algún vehículo que lo fije y disperse en la masa de concreto durante el mezclado.

Hay productos ya preparados para usarse en cantidades más manejables y asegurar una buena dispersión. Comúnmente se presenta en forma de polvo, que debe mezclarse con el cemento y la arena, en seco, en la revolvedora, antes de agregar el agua para evitar la segregación del aluminio, pero también se preparan aditivos de consistencia viscosa o cremosa, conteniendo proporciones convenientes de aluminio en polvo, que pueden agregarse al agua poco antes de hacer el concreto y se mantienen en suspensión durante un largo tiempo. Estos garantizan una mejor dispersión en la masa, y por lo tanto una generación de hidrógeno más uniforme.

Entre los aditivos de gas, no todos producen hidrógeno; el hipoclorito de calcio y el peróxido de hidrógeno, cuando se combinan con algunos componentes del cemento, generan oxígeno en pequeñas burbujas. Su uso, no obstante, no está tan generalizado como el polvo de aluminio.

MATERIALES PULVERIZADOS

Evaluación y Selección.- Debe tenerse en consideración el costo del concreto con cada aditivo mineral finamente dividido. Algunos aditivos de este tipo pueden aumentar considerablemente el costo del concreto por el aumento de agua y la consiguiente necesidad de aumentar la cantidad de cemento, para lograr los requisitos de las especificaciones en cuanto a relación agua-cemento, la resistencia y otras propiedades. Por otra parte, se puede esperar que algunos aditivos minerales finamente divididos reduzcan la cantidad de agua y tengan de

por sí propiedades cementantes. En el caso de las puzolanas, el aditivo puede tener una interacción con los compuestos de hidratación del cemento Portland y producir compuestos de valor cementante.

Algunos aditivos minerales finamente divididos pueden reducir el agua y también producir acción cementante.

Debe evaluarse el efecto de los aditivos minerales finamente divididos sobre otras características esenciales del concreto. Algunos de estos aditivos pueden ayudar a reducir el calor de hidratación, dar resistencia a la acción agresiva de compuestos químicos u otras propiedades. Por otra parte, debe considerarse cualquier efecto lateral que sea perjudicial. La uniformidad del aditivo de lote a lote y entre diferentes embarques, puede ser un factor crítico que tenga influencia en la selección entre varios productos, ya que una variación apreciable a este respecto, introduciría más problemas en el control de la uniformidad del concreto.

Control de Compra y Suministro.- Cuando se requiera o permita un aditivo mineral finamente dividido, las especificaciones para la obra deben incluir especificaciones para la compra de tal aditivo. Las especificaciones estándar más reconocidas son:

- a) Cemento natural ASTM C 10
- b) Cal hidráulica ASTM C 141
- c) Cemento de escoria ASTM C 595
- d) "Fly Ash" y puzolana natural o calcinada ASTM C 618

Debe darse acceso al comprador al lugar de origen del aditivo mineral finamente dividido para que pueda muestrearlo.

Almacenamiento, Manejo y Dosificación.- Los aditivos minerales finamente divididos deben ser almacenados en construcciones impermeables, tolvas o silos para protegerlos de la humedad y de la contaminación y para reducir al mínimo la formación de grumos y endurecimiento en bodega. Ya que la apariencia (color y finura) de los aditivos minerales finamente divididos es, frecuentemente, similar a la del cemento Portland, es trascendental el cuidado que debe tenerse con el almacén y el equipo de manejo. Si se usan tolvas de compartimiento para el almacenamiento del cemento hidráulico a granel y el aditivo mineral finamente dividido, deberán tomarse precauciones para lograr que no haya contaminación entre un compartimiento y otro. Además, las tolvas divididas deberán ser inspeccionadas frecuentemente para asegurar que no haya fugas.

Los aditivos minerales finamente divididos pueden ser manejados por el mismo tipo de equipo con que se maneja y transporta el cemento Portland.

Esto incluye los transportadores de aire, de tornillos elevadores de cangilones, bandas y bombas neumáticas. Algunos aditivos minerales finamente divididos tales como "fly ash", tienen forma de partículas redondeada y consecuentemente son extraordinariamente fluidos cuando se crean. Precisamente por esa facilidad de flujo de ciertos aditivos, la alimentación del material desde una tolva al equipo dosificador por peso puede no ser satisfactoriamente controlada y arrancando el tornillo transportador. En tal caso se recomienda instalar una válvula o alimentador a la salida de la tolva para evitar el flujo de material alrededor del tornillo transportador. Los buenos métodos de operación, normalmente usados para manejar el cemento, tal como la limpieza de tornillos, tuberías y fondos de los elevadores al final de cada día de trabajo, deben seguirse también con el equipo para manejar los aditivos minerales finamente divididos.

La dosificación de los aditivos minerales finamente divididos deben ser por peso y de acuerdo con los requisitos que se marquen. Cuando se usan aditivos minerales finamente divididos a granel, se recomienda se siga una secuencia de pesado, primero el cemento y los aditivos minerales finamente divididos se pesan acumulativamente en la misma báscula. Para evitar la duplicación u omisión es aconsejable utilizar equipo dosificador automático interconectado.

Los aditivos minerales finamente divididos deben ser introducidos en la mezcladora junta con el cemento y otros componentes de la mezcla del concreto. En esta forma, se asegura obtener calidad y composición uniformes en toda la carga.

Los aditivos minerales finamente divididos no deben ser cargados en una mezcla húmeda antes que los otros materiales, por la tendencia de los aditivos a pegarse en las paredes laterales de la mezcladora y de las espas. De la misma manera los aditivos minerales finamente divididos, no deben ser introducidos en la mezcladora junto con el agua de mezclado, por su tendencia a formar bolas y grumos en tales condiciones. Si el aditivo mineral finamente dividido es introducido en la mezcladora después que los demás componentes del concreto han sido parcialmente mezclados, es dudoso que el aditivo quede uniformemente distribuido en toda la masa. Esto es particularmente importante en concreto mezclado en tránsito.

Proporcionamiento del Concreto.- Las técnicas de proporcionamiento que incluye el uso de aditivos minerales finamente divididos, no son diferentes básicamente de las usadas en el proporcionamiento del concreto que incluye esos aditivos. Para seleccionar proporciones de mezclas de concreto se dan métodos para proporcionar mezclas con "fly ash". Algunos aditivos minerales finamente divididos se usan en cantidades tan pequeñas que puede ignorarse su volumen con seguridad. Sin embargo, cuando se usan aditivos minerales finamente divididos en proporciones importantes, tal como ocurre con las puzolanas

y otros minerales cementantes, su volumen absoluto debe ser tomado en consideración en los cálculos de proporcionamiento. Ya que los aditivos minerales finamente divididos son habitualmente tan finos o más que el cemento Portland, deben ser tratados usualmente como parte de la pasta de cemento para determinar los porcentajes de agregado fino y grueso. Debe conocerse el efecto del aditivo con relación a la cantidad de agua del mezclado. Algunos aditivos minerales finamente divididos originan un aumento en los requerimientos de agua; otros aditivos de este tipo tienen poco o ningún efecto en el requerimiento de agua, mientras que otros típicos aditivos minerales finamente divididos, reducen la cantidad de agua en el concreto. En general los aditivos minerales finamente divididos, relativamente inertes, químicamente no tienen otro efecto directo en la cantidad de cemento Portland que requiere la mezcla de concreto, que aumentar o disminuir la cantidad total de agua del concreto, haciendo por lo tanto, necesario un ajuste en el contenido del cemento. Los aditivos cementantes y las puzolanas, por otra parte, no solamente afectan la cantidad de agua en el concreto, y por tanto del contenido de cemento sino que, por sus propiedades, son frecuentemente consideradas como parte del material cementante.

2.- Dosificación de un Aditivo Inclusor de Aire.

Se desea dosificar una mezcla de concreto cuya resistencia a la compresión a los 28 días sea de 140 kg/cm^2 y con un contenido de aire del 6%.

Primeramente se dosificará la mezcla de concreto con las características arriba descritas, enseguida se procederá a verificar la cantidad de aire que contiene la mezcla de concreto, debido a la adición de un aditivo inclusor de aire y finalmente se elaborarán muestras de prueba para determinar la resistencia a la compresión y observar en que grado afecta la inclusión de aire a la resistencia del concreto.

1. Proporciónamiento de la mezcla.

Materiales y equipo necesarios en este procedimiento:

Cemento.

Agregados: arena y grava.

Medida cilíndrica de 5 l.

Artesa de lámina de 30 x 50 cm.

Báscula que pese hasta 10 Kg.

Balanza que pese hasta 250 grs.

Probeta graduada de un litro.

Operaciones similares:

$$\text{Peso volumétrico} = \frac{\text{Promedio pesos} - \text{Peso de vasija vacía}}{5 \text{ litros}}$$

Peso específico.- De la muestra del material perfectamente seca - se toman 200 gr. se introducen lentamente en la probeta graduada, misma que previamente se ha llenado hasta la marca de 500; se deja reposar unos 10 minutos y se lee el volumen.

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{Peso del material seco}}{\text{Volumen de agua desalojado}}$$

Determinación de la proporción de agregados que contiene al mínimo de huecos.- Para alcanzar este valor se sigue el siguiente - procedimiento:

- a) Se toman varias muestras de igual peso del agregado grueso.
- b) A cada una de estas muestras se le agrega determinado peso de arena y se mezclan perfectamente bien.
- c) Con las mezclas así obtenidas, determinamos sus pesos volumétricos por el método descrito, llenando la vasija de 5 litros con la mezcla colocada en capas de 10 cm apisonadas con una varilla de 5/8".

- d) Registramos el peso de la arena y el peso volumétrico de la mezcla en cada tanteo.
- e) Dibujamos una gráfica en donde las abscisas representan los pesos de la arena y las ordenadas el peso volumétrico de la mezcla.

Ejemplo ilustrativo:

- a) Determinación de los pesos volumétricos.

Arena:

$$\begin{aligned} \text{Peso promedio de distintas llenadas} &= 9.100 \text{ Kg.} \\ \text{Peso de la vasija vacía} &= 1.450 \text{ Kg.} \\ \text{Peso neto de la arena} &= \underline{7.650 \text{ Kg.}} \end{aligned}$$

$$\text{Peso Vol. de la Arena} = \frac{7.650 \text{ Kg.}}{5 \text{ litros}} = 1.53 \text{ Kg/l}$$

Grava:

$$\begin{aligned} \text{Peso promedio de distintas pesadas} &= 10.20 \text{ Kg.} \\ \text{Peso de la vasija vacía} &= \underline{1.45 \text{ Kg.}} \\ \text{Peso neto de la grava} &= 8.75 \text{ Kg.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso Vol. de la grava} &= \frac{8.75 \text{ Kg}}{5 \text{ litros}} = 1.75 \text{ Kg/l} \\ &= 1750 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- b) Determinación de pesos específicos.

Arena:

$$\begin{aligned} \text{Peso de la muestra seca} &= 200 \text{ g.} \\ \text{Volumen de agua desalojada} &= 80 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Peso específico} = \frac{200}{80} = 2.5$$

Grava:

$$\text{Peso de la muestra seca} = 200 \text{ g.}$$

$$\text{Volumen de agua desalojada} = 77 \text{ cm}^3$$

$$\text{Peso específico} = \frac{200}{77} = 2.60$$

- c) Determinación de la relación de mezcla de agregados con mínimos de huecos.

Proporción de la mezcla de agregados en peso		Volumen pesado	Peso de la mezcla
Arena	Grava	L	Kg.
4.5 Kg.	10.0 Kg	5.0	9.0
5.1 Kg.	10.0 Kg	5.0	9.61
5.50 Kg.	10.0 Kg	5.0	9.40

De la tabla se obtiene la mezcla más compacta, que es la producida por 5.1 Kg de arena y 10 Kg de grava, con un peso máximo de 9.61 Kg, por lo tanto, dentro de la vasija de 5 - litros habrá:

$$\text{Arena} = \frac{9.61 \times 5.1}{10 + 5.1} = 3.25 \text{ Kg}$$

$$\text{Grava} = \frac{9.61 \times 10.0}{10 + 5.1} = 6.36 \text{ Kg}$$

- d) Determinación de la cantidad de lechada:

El volumen absoluto de los agregados se obtienen dividiendo sus pesos entre sus pesos específicos.

$$\text{Volumen absoluto de arena} = \frac{3.25}{2.50} = 1.30 \text{ l}$$

$$\text{Volumen absoluto de grava} = \frac{6.36}{2.60} = 2.45 \text{ l}$$

$$\text{Volumen total absoluto} = 3.75 \text{ l}$$

$$\text{Volumen absoluto de lechada} = 5 - 3.75 = 1.25 \text{ l}$$

Por lo tanto los porcentajes de estos tres ingredientes son - los siguientes:

$$\text{Lechada} = \frac{1.25}{5} = 0.250 = 25\%$$

$$\text{Arena} = \frac{1.30}{5} = 0.260 = 26\%$$

$$\text{Grava} = \frac{2.45}{5} = 0.490 = 49\%$$

FATIGAS DE FRACTURA PARA DISTINTAS RELACIONES AGUA-CEMENTO			
		Litros de agua por saco de cemento	
f'_c	$f'_c = 0.45f'_c$	Condiciones comunes de trabajo	Condiciones rígidas de trabajo
62.5	28.0	41.3	46.6
75.0	34.0	38.6	43.5
87.5	39.0	36.2	41.0
100.0	45.0	34.2	38.7
112.5	50.0	32.5	36.7
125.0	56.0	30.9	34.9
137.5	62.0	29.5	33.3
150.0	67.0	28.2	31.8
162.5	73.0	27.0	30.5
175.0	79.0	25.8	29.2
187.0	84.0	24.8	28.0
200.0	90.0	23.9	27.0

e) Cálculo de la revoltura. Para una resistencia de 140 Kg/cm² a la compresión a los 28 días, se necesita agregar 33 litros de agua por saco de cemento, y por lo tanto, las pro-

porciones de la mezcla referidas al volumen absoluto, serán las siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Volumen de agua} &= 33 \text{ l} \\ \text{Volumen de un saco de cemento} &= \frac{16,10}{1} \text{ l} \\ \text{Volumen de la lechada} &= 49,10 \text{ l} \\ \text{Volumen de arena} &= \frac{49,1 \times 26}{25} = 51,06 \text{ l} \\ \text{Volumen de grava} &= \frac{49,1 \times 49}{25} = 96,23 \text{ l} \end{aligned}$$

En peso:

$$\begin{aligned} \text{Agua} &= 33,00 \text{ Kg.} \\ \text{Cemento} &= 50,00 \text{ Kg.} \\ \text{Arena} &= 127,65 \text{ Kg.} \\ \text{Grava} &= 250,20 \text{ Kg.} \end{aligned}$$

En volúmenes aparentes:

$$\begin{aligned} \text{Agua} &= 33 \text{ litros} \\ \text{Cemento} &= 33 \text{ litros} \\ \text{Arena} &= \frac{127,65}{1,530} = 83,4 \text{ litros} \\ \text{Grava} &= \frac{250,20}{1,750} = 142,97 \text{ litros} \end{aligned}$$

Para 5 lt de concreto se requieren:

En volumen absoluto:

$$\begin{aligned} \text{Agua} &= 0,84 \text{ lt.} \\ \text{Cemento} &= 0,41 \text{ lt.} \\ \text{Arena} &= 1,30 \text{ lt.} \\ \text{Grava} &= 2,45 \text{ lt.} \end{aligned}$$

En peso:

Agua	=	0.84 Kg.
Cemento	=	1.27 Kg.
Arena	=	3.27 Kg.
Grava	=	6.37 Kg.

En volúmenes aparentes:

Agua	=	0.84 lt.
Cemento	=	0.77 lt.
Arena	=	2.14 lt.
Grava	=	3.64 lt.

2. Con las proporciones calculas, se elaborarán dos mezclas, una mezcla testigo (sin aditivo) y otra mezcla de prueba (con aditivo) - para comparar la resistencia a la compresión a los 28 días de ambas muestras.

A continuación se describe el procedimiento para determinar la cantidad de aire en el concreto de la mezcla de prueba a la cual se le añadió el aditivo en una proporción de 30 cm³ por saco de cemento.

E q u i p o

- 1.- Aparato medidor de aire.
- 2.- Varilla metálica de 1.58 cm (5/8") de diámetro y 40 cm de largo.
- 3.- Varilla plana de 40 cm de largo.
- 4.- Perilla de hule.
- 5.- Aditivo inclusor de aire.

PROCEDIMIENTO

- a) Se toma una muestra del concreto elaborado de manera que sea representativa del volumen total y se le agrega el aditivo (para 1.27 Kg. de cemento se añaden 0.762 cm^3 del aditivo inclusor de aire).

Fig. 21



- b) Se deposita el concreto en tres capas de la tercera parte de la altura del recipiente y cada capa se apisona 25 veces, cuidando que la punta de la varilla no pase a la capa anteriormente compactada. Fig. 22.



- c) Se enrasa el recipiente cuidadosamente y con la ayuda de la varilla plana, se alisa mediante un movimiento de sierra; debe tenerse la precaución de que la superficie del concreto quede perfectamente lisa, para evitar errores en la prueba. Fig. 23



d) Se limpia perfectamente el borde del recipiente. Fig. 24



- e) Se coloca la tapa sobre el recipiente y se aprieta mediante las abrazaderas de presión que para ese fin tienen colocadas diametralmente opuestas en dicha tapa. Fig. 25



- f) Con la perilla de hule llena de agua se introduce parte de ella por uno de los orificios de la tapa y al salir el líquido por el que se encuentra diametralmente opuesto, se cierran las llaves de paso rápidamente. Fig. 26



- g) Se procede a continuación a inyectar agua a presión mediante el émbolo que se tiene también en la tapa, hasta que la aguja del manómetro llegue al punto de calibración de éste. Al suceder lo anterior se atornilla el émbolo en su posición final de descenso y acto seguido se procede a oprimir la válvula de paso que se tiene a un lado para que se incremente la presión en el recipiente donde se encuentra el concreto. Fig. 27



h) A continuación se hace la lectura en la carátula del manómetro, en donde se observa directamente el porcentaje de aire existente y finalmente se procede a abrir lentamente una de las llaves de paso de los orificios de llenado y se deja salir parte del agua a presión. Una vez que la presión anterior se ha reducido igualándose con la atmosférica se destapa el recipiente. Fig. 28

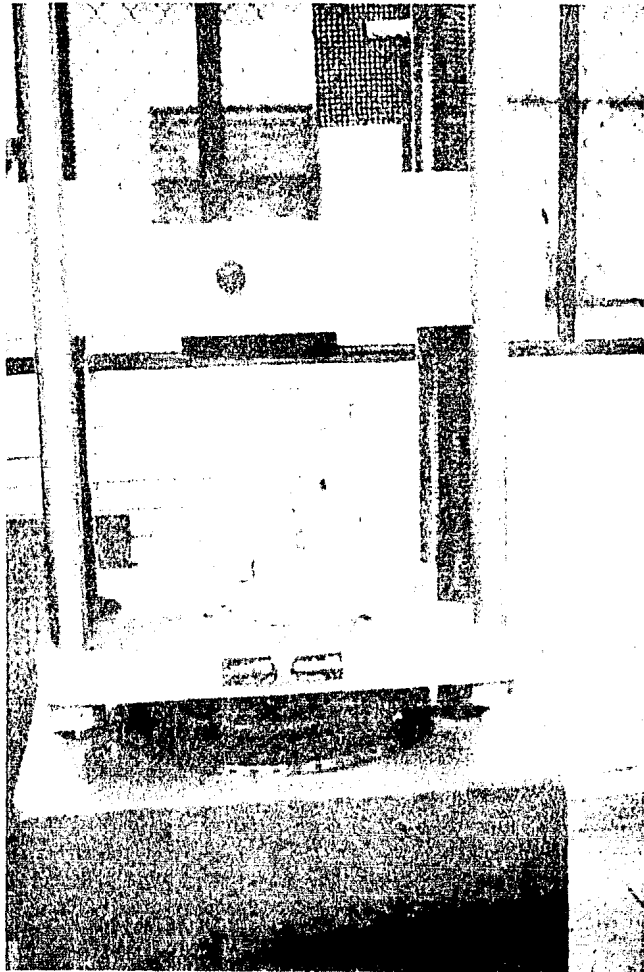
De aquí se puede concluir que la cantidad de aditivo que se adicionó es suficiente para darle a la mezcla la cantidad de aire que marcan las especificaciones (se puede apreciar en la figura 28 que el contenido de aire fue del 6%).



3.- Se procede a probar los cilindros a la compresión por medio de la máquina universal.

La resistencia del cilindro testigo fue de 141 Kg/cm², mientras que la del cilindro de prueba fue de 134 Kg/cm².

Según se especifica en los reglamentos, en lo referente a aditivos, que la resistencia de los cilindros de prueba no deberá ser menor - del 90% de la correspondiente de los testigos, por lo tanto, la resistencia del cilindro de prueba está dentro del rango especificado.



CONCLUSIONES

- 1.- Los aditivos inclusores de aire no son caros y su costo se compensa ampliamente, ya que su empleo requiere de una cantidad menor de agregado fino.
- 2.- El agente inclusor de aire causa una ligera pérdida de resistencia en las mezclas de concreto, pero esto es compensado con el mejoramiento en la trabajabilidad y en la reducción del sangrado del concreto.
- 3.- Las dosificaciones líquidas de los agentes inclusores de aire, generalmente recomendadas por saco de cementos, son sólo guías y no se deben considerar exactas en todas las condiciones.
- 4.- La eficacia de un aditivo depende de factores como el tipo y cantidad de cemento, proporción de agua, forma del agregado, granulometría y proporciones, tiempo de mezclado, revenimiento y las temperaturas del concreto y del aire.
- 5.- Los aditivos que se consideren adecuados para usarse en el concreto deberán ajustarse a las especificaciones de la dirección general de normas o de las de la American Society of Testing and Materials.
- 6.- Los retardantes de fraguado tienen una finalidad práctica, pero no son la solución para los diseños de mezcla pobre, los materiales de baja calidad o los bajos factores de cemento.
- 7.- El cloruro de calcio se emplea más en clima frío, para reducir el tiempo de fraguado y permitir un acabado temprano; sin embargo, los usuarios no deben considerarlo un anticongelante puesto que aún con este producto químico, el concreto colado a bajas temperaturas se puede congelar.

- 8.- La adquisición de resistencia en el concreto puede también acelerarse (1) usando cemento Portland tipo III o de rápido endurecimiento, (2) disminuyendo la relación agua-cemento, o (3) haciendo el curado a temperaturas frías elevadas.

- 9.- Para poder conseguir el aprovechamiento y la conservación de la fluidez en la mezcla, se deberán prever en cada caso.
 - Los materiales y diseño de la mezcla más conveniente, así como el tipo de el aditivo o aditivos y la determinación del momento propicio para su adición.
 - Una dosificación adecuada, un mezclado eficiente y los procedimientos más apropiados para su colocación compactación y acabado.
 - Las pruebas de campo y laboratorio que permitan disponer de información adecuada y oportuna de la eficiencia lograda con el aditivo, acorde con la práctica de colocación utilizada.

- 10.- Los aditivos superfluidizantes (denominados también superplastificantes), son una extensión de los aditivos reductores de agua normales y son formulados con materiales que permiten una adición mucho mayor (hasta 10 veces más que los aditivos reductores de agua normales) a las mezclas de concreto sin que aparezcan efectos indeseables tales como oclusiones de aire o retardaciones excesivas.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- TECNOLOGIA DEL CONCRETO
A. M. Neville
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto
1ª Edición México 1982
- 2.- PROYECTO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO
Portland Cement Association
Edit. LIMUSA
1ª Edición México 1981
- 3.- PROBLEMAS DEL CONCRETO
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto
México 1985
- 4.- MANUAL DE OBRAS CIVILES
Comisión Federal de Electricidad
Tomo I
- 5.- ADITIVOS Y TRATAMIENTOS DE MORTEROS Y HORMIGONES
Autor: Michel Venuat
Editores Técnicos Asociados
Primera Edición 1972
- 6.- ADITIVOS PARA LOS HORMIGONES
Autor: M. R. Rixom.
Editores Técnicos Asociados
1984