

00164



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ARQUITECTURA

“Concreto: Tecnología de una piedra artificial”.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
**MAESTRO EN
ARQUITECTURA-TECNOLOGÍA**

PRESENTA:
JAVIER ARTURO RÍOS ESPINOSA

PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO
EN ARQUITECTURA

UNAM

2005

11345064



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



“Concreto: Tecnología de una piedra artificial”

Javier Arturo Ríos Espinosa

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura

UNAM

2005

Dios *Por ti se que la fe mueve montañas*

Antonio y Reyna *La vida nos da lecciones y la mayor de ellas es que el amor de los padres es real y verdadero*

Gabriela Manuel Antonio y Alejandra *La razón de mi ser, mi sentir y mi pensar*

Yolanda Antonieta Leticia y Beatriz *La unión fraternal de la sangre*

Alejandra José Ignacio Villa Galindo y Carlos Prieto *Amistad, preciado regalo de la vida*

Mis Profesores *Incansable fuerza impulsora del conocimiento e irresistible ejemplo a seguir*

Universidad Nacional Autónoma de México *Una realidad para realerar nuestros sueños profesionales*

Encontrarlos en el camino no ha sido casualidad
Mil gracias gracias mil

J. U. R. A. D. O

Director De Tesis:

Dra. Gemma Vardisco Chirino

Sinodales Propietarios:

M. En Abq. Francisco Reyna

Gómez

M. en Abq. Jorge Rangel Divaldo

Sinodales Suplentes:

Dr. Humberto Acosta Espinosa

Dr. Carlos Prieto de Castro

Índice

Introducción

Aspectos fundamentales de la tecnología del concreto

Capítulo I

página

1. Cemento, agregados y agua

1.1 Presentación-Antecedentes	1
1.2 Qué es y cómo está formado	2
1.3 Cemento	
1.4 Fabricación Cemento Pórtland	3
1.5 Cemento Hidratado	7
1.6 Fraguado	8
1.7 Tipos de cementos	9
1.8 Los agregados	15
1.9 Clasificación	16
1.10 Agregados artificiales	17
1.11 Propiedades mecánicas de los agregados	18
1.12 Agua	21

Tecnología avanzada del concreto

Capítulo II

1. El concreto moderno y sus Aditivos

1.1 Presentación	23
1.2 Clasificación	

Capítulo III

1. Diseño de mezclas de concreto en la actualidad

1.1 Revenimiento	28
1.2 Lo nuevo	
1.3 Correcciones y ajustes	29

Capítulo IV**1. Avances en Concretos Especiales**

1.1 Concretos especiales	31
1.1.1 De alto comportamiento	
1.1.2 De alta trabajabilidad	32
1.2 Otros concretos especiales	33
1.2.1 Reforzado con fibra	
1.2.2 De retracción compensada	34
1.2.3 Con polímeros	35
1.2.4 Concreto masivo	36
1.2.5 Concreto arquitectónico	

La época moderna y el concreto en la obra

Capítulo V**1. Concreto fresco**

1.1 Trabajabilidad	38
1.2 Sangrado y segregación	
1.3 Especímenes para prueba	41

Capítulo VI**1. El concreto en la obra**

1.1 Mezclado	43
1.2 Transporte y colocación	44
1.3 Acabado curado y juntas	45
1.4 Concreto en climas fríos	46
1.5 Concreto en climas cálidos	47
1.6 Propiedades del concreto endurecido	49
1.7 Pruebas al concreto	

2. Durabilidad

52

El concreto hacia el futuro

Capítulo VII

1. Hacer buen concreto

1.1 Buen concreto	53
-------------------	----

2. Nuevos materiales y productos del concreto hacia el futuro

2.1 El concreto y sus materiales, aporte de las investigaciones	55
---	----

3. Proyectando el futuro del concreto

3.1 Aportación de las nuevas investigaciones	66
--	----

4. El concreto competitivo tecnológica y energéticamente y benefactor ecológico.

4.1 Reflexiones acerca del tema	70
---------------------------------	----

5. Líneas de investigación en tecnología del concreto

5.1 Desarrollo	75
----------------	----

Conclusiones

Desarrollo	77
------------	----

Bibliografía

Referencias bibliográficas	81
----------------------------	----

La primera parte está enfocada en **"Los aspectos fundamentales de la tecnología del concreto"**; Qué es, Cómo está constituido, Cómo ha influido el desarrollo del conocimiento científico en el área de materiales, de maquinaria y equipo industrial para fabricar y seleccionar sus componentes, y como influyen las propiedades de estos componentes en el producto final.

El capítulo uno contiene información actualizada de la composición y propiedades de los cementos, agregados y agua utilizados con mayor regularidad.

La segunda parte trata del **"Concreto y los últimos avances en su tecnología"**, particularmente en el área de los concretos especiales de gran demanda e importancia en la actualidad.

El capítulo dos contiene información acerca de los aditivos más conocidos para el concreto.

El capítulo tres trata los principios básicos del diseño y proporcionamiento de mezclas de concreto.

En el capítulo cuatro se presentan los adelantos en la tecnología para adaptar al concreto en aplicaciones especiales y particulares. Se presenta información acerca de la composición, propiedades y aplicaciones de concretos especiales, incluyendo al *concreto de alta resistencia, concreto con polímeros, concreto ligero, concreto para escudos nucleares y concreto de alta trabajabilidad*, entre otros

La tercera parte **"La época moderna y el Concreto en la Obra"** presenta un análisis de los aspectos más importantes del concreto en la obra, los avances en esa área y su influencia en el mejoramiento de los procesos de construcción en obras hechas con concreto

El capítulo cinco describe las propiedades y características del concreto en edades tempranas (concreto fresco) y cómo éstas influyen en los procesos y operaciones a los que esta sujeto el concreto recién fabricado.

El capítulo seis hace referencia a los procedimientos más generales del manejo del

concreto en la obra, específicamente el mezclado, transporte, colocación, compactación, curado, acabado y descimbrado; lo nuevo en este campo y recomendaciones para tener el mejor control.

Se describen los puntos de más importancia en cuanto a juntas para concreto se refiere. Se abordan los casos particulares de afectación por cambios en la temperatura ambiente; concreto en clima frío y concreto en clima caliente.

El capítulo seis también está dedicado a las propiedades del concreto endurecido como son la resistencia y durabilidad, y a los sistemas de control de calidad, como son las pruebas destructivas, pruebas no destructivas y control estadístico.

Apoyados en las tres etapas anteriores, en la cuarta parte **"El concreto hacia el futuro"**, se analizan los porqués del concreto como el material de construcción más utilizado en el mundo y las razones de su casi segura permanencia en las grandes obras de construcción del futuro.

El capítulo siete explica los razonamientos por los cuales debemos hacer buen concreto.

En este capítulo se sintetiza el desarrollo de nuevos materiales y productos del concreto, resultado de las más recientes investigaciones en el mundo del concreto.

También nos presenta los aspectos más relevantes con relación a proyectar el concreto para que sea resistente, durable y de mejor calidad, apoyándonos en los resultados de las investigaciones más recientes en esta área.

El capítulo incluye algunas reflexiones sobre el futuro del concreto como material de construcción, basadas en sus propiedades de ingeniería, Economía de los costos, ahorros de energía y aspectos ecológicos.

Como resultado de toda la información obtenida y desarrollada para este trabajo se establecen algunas líneas de investigación en las que se hace necesario incursionar para que el concreto siga siendo un material altamente competitivo y de actualidad.

se ha pretendido precisamente, especificar, que es un trabajo que tiene que ver con "el cómo", "el cuando", "con qué" y "para qué" se produce y aplica un material que es considerado el más utilizado en la construcción actual en el mundo.

La pretensión es tener un acercamiento menos áspero con un material que debido a sus características de maduración continua, pareciera un material con vida, hablando en un sentido figurado.

Desde el punto de vista de un arquitecto, debo decir que en nuestra época, el trabajar con el concreto puede ser un arte cuando se conocen todos los aspectos de importancia en su fabricación y aplicación, y los nuevos avances en la tecnología de este material. El manejo adecuado y consciente de todo este conocimiento nos podría dar la posibilidad como profesionistas de la construcción de proponer nuevos procedimientos, de diseñar, proyectar y construir aprovechando todas las propiedades y posibilidades del material, de crear nuestras propias tecnologías para resolver problemáticas especiales y muy particulares que siempre se presentan de una u otra manera en las obras, o para mejorar los sistemas ya conocidos sin necesariamente tener que recurrir a una tecnología importada como única opción, sino como una alternativa de la que tomaremos sólo lo que nos sea conveniente.

México es un país que ha dado grandes arquitectos y podemos hasta decir que muchos de los arquitectos mexicanos, en el pasar de los años, han construido por gusto, lo que ha producido una arquitectura mexicana de primer orden en el mundo, pero en la actualidad se ha notado que los arquitectos nos estamos olvidando de "el saber construir"³ y por lo mismo hemos estado cediendo este campo a los ingenieros; hemos escuchado con mucha frecuencia que los ingenieros en México realizan el trabajo que ejercen los arquitectos en otros países del planeta.

Sin embargo, la buena arquitectura es poca y en la actualidad existe una gran preocupación por la evolución misma, obteniéndose como resultado propuestas con soluciones de importancia en relación con el avance arquitectónico.

En nuestra época se debe buscar una congruencia entre el crecimiento de las ciudades y la arquitectura utilizada, lo cual nos exige un compromiso mayor para armonizar las construcciones con estas ciudades. Al decir armonizar hablamos de aspectos culturales y de tradición, aspectos visuales y aspectos de conocimiento, aprovechamiento y manejo de materiales, así como de nuevas técnicas de construcción; sin olvidar la importancia del pensamiento detrás de las obras, con el que cada arquitecto está involucrado.

Se habla mucho acerca de que la arquitectura hermana el arte con la tecnología y que el avance tecnológico y científico deberán estar al servicio del ser humano, pero no todo es tan sencillo como parece ya que la tecnología de avanzada tiene algunos problemas de responsabilidad, de valores y de posesión (es para pocos); En la actualidad se ha endiosado la tecnología con motivos de comercialización, fenómeno iniciado hace aproximadamente veinte años, esto ha convertido al conocimiento en un instrumento de control hacia los países menos poderosos. El problema es que cuando los conocimientos entran a un grupo de poder tienden a echarse a perder por generalidad. Es un hecho que estamos viviendo una sociedad tecnocrática y enfocada hacia los avances tecnológicos y científicos y si la ciencia y la tecnología forman parte de la cultura y son punto fundamental para la libertad del ser humano, los arquitectos no podemos permanecer al margen de tal evolución, aunque siempre se recomienda tener precaución de no perder la consideración de la problemática que esto conlleva.

El trabajo esta constituido de **cuatro partes principales presentadas en siete capítulos**

3(Teodoro González de León)

INTRODUCCIÓN

En la actualidad cada vez es más frecuente estar en contacto con la palabra **Tecnología**; "Tecnología de punta", "De gran tecnología", "De Alta tecnología", "Nueva tecnología", "Desarrollo tecnológico", "Innovación tecnológica", "Transferencia de tecnología", "Paquete tecnológico", son las expresiones que más frecuentemente escuchamos, leemos e inclusive utilizamos en nuestra vida diaria.

La pregunta sería: *¿Qué es realmente la tecnología?*

Etimológicamente tecnología es "El discurso sobre la técnica", pero la técnica entendida en su conceptualización real y verdadera, no en el entendimiento devaluado de la actualidad.

Se tiene que hablar de técnica en una idea muy rica asociada con conceptos de producción y conocimiento, de un conocimiento extrínseco a la acción que tiene un resultado productivo y que está asociado a la experiencia, a la analogía, a la dinámica, a la energía, a la fuerza, al hábito, a la actividad creativa e innovadora, a la respuesta racional de una inteligencia ante la naturaleza, al descubrimiento de lo desconocido y a la utilización de instrumentos y máquinas.

En el momento en que la **técnica** se hace compleja adquiere el grado de **tecnología**.

Podríamos decir que la tecnología es el marco intelectual y la preparación para desarrollar la actividad técnica; de donde podemos entender que una tecnología puede implicar varias técnicas e involucra al conocimiento que genera un procedimiento, al instrumento que se requiere para realizarlo, a la energía de éste instrumento, a los operarios, a los sistemas y los manuales, y a todo ese complejo sistema de la producción. Se dice que tecnología es el

"como hacer las cosas"¹ ó que es "El conocimiento aplicado a producir efectos económicos tangibles"²

Lo que es seguro es que la tecnología es resultado de una evolución que se ha dado a lo largo de miles de años; que en la actualidad la tecnología contemporánea se apoya grandemente en los descubrimientos y en los avances de la ciencia moderna a la vez que esos avances no se habrían dado sin el apoyo de los equipos necesarios para ello.

La investigación científica requiere de los avances tecnológicos para progresar, de tal forma que, la ciencia y la tecnología se apoyan mutuamente.

No sólo se sabe cómo hacer las cosas, también sabemos porqué es conveniente hacerlas de tal ó cual forma, lo que ha permitido los grandes adelantos de los que somos testigos.

Desde sus inicios la arquitectura ha estado relacionada a la técnica y a la tecnología; así podemos referirnos al arquitecto de la antigüedad como "*el jefe de los operarios*", debido a sus funciones en la construcción de barcos.

En el campo de la **Arquitectura** y de los materiales de construcción, referirse al **Concreto** es hablar de un material producto de la combinación de otros materiales naturales o artificiales que por su apariencia final ha sido identificado como "*una piedra artificial*", la que para su fabricación tiene necesariamente que estar relacionada con todos los aspectos de la producción industrial.

Al titular un trabajo de investigación como "Concreto - Tecnología de una piedra artificial"

¹Bush, Tomas, El Tecnoscopio, Argentina

²Duarte, Carlos, Explotación del conocimiento, Ensenada, Baja California, artículo.

Aspectos fundamentales de la tecnología del concreto

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

El **concreto** es uno de los dos materiales estructurales de mayor uso en la construcción. A pesar de que algunas estructuras pueden construirse tanto en concreto como en otro tipo de materiales como es el acero por lo general los profesionistas encargados de las mismas tienen menor conocimiento acerca del concreto en relación con el acero, si hablamos de hacer una estructura.

En una construcción de concreto hay que considerar que el material de construcción no es el cemento, cuya calidad esta garantizada por el fabricante, sino el concreto.

Generalmente los elementos estructurales se elaboran en la obra y su calidad depende primordialmente de la calidad de la mano de obra en los procesos de elaboración y colocación del material, de lo cual podemos deducir la importancia del control de calidad así como de la supervisión en las obras de concreto.

En el campo del diseño arquitectónico esto es de gran importancia ya que el proyecto podría no realizarse fácilmente si no se considera que pueden existir variaciones entre las propiedades del concreto real y las del concreto especificado en los cálculos del mismo. De aquí que sea muy fácil hacer

concreto malo por no "saber cómo" hacer concreto bueno, los ingredientes son los mismos pero la diferencia estará en el conocimiento y manejo adecuado de los procesos de fabricación.

Podríamos decir que un *concreto "Bueno"* es aquel que cumple satisfactoriamente con ciertas características tanto en su estado endurecido como en su estado fresco.

Hablando del estado fresco requerimos que la mezcla tenga cohesión necesaria con relación a los procesos de colocación, así como que la consistencia se preste a la compactación sin demasiados esfuerzos para obtener un producto homogéneo terminado.

En relación al concreto endurecido tendremos que decir que deberá tener una resistencia adecuada a la compresión (Una de las principales características estructurales del material) lo cual asegura que se presenten otras características o propiedades que nos garantizan la alta resistencia del material.

Algunas de estas propiedades del concreto son: Densidad, Durabilidad, Resistencia a la tensión, impermeabilidad, resistencia a la abrasión y resistencia a los sulfatos entre otras.

El conocimiento de estas propiedades no es solamente por cuestiones de interés personal del profesional, puesto que esto, nos permitirá tener mezclas más adecuadas a los requerimientos del proyecto así como más económicas.

El desarrollo y creación de equipos para tener una mayor uniformidad en el material han provocado un mayor interés en sus procesos de fabricación y en el estudio de su tecnología.

La tecnología del concreto siempre presenta nuevos conocimientos ya que el concreto sigue siendo un material estructural de gran valor en la construcción cuya importancia se ha ido incrementando con el tiempo.

Uno de los intereses principales de este trabajo es el de tener un punto de vista integrado de las propiedades del concreto y de los conceptos científicos que las explican.

QUE ES EL CONCRETO Y Cómo Está FORMADO

El **concreto** es un material de construcción cuyas características le han valido la conceptualización de ser una "*pedra artificial*".

Se denomina **concreto** a la mezcla de cemento, agregados inertes (grava y arena) y agua, los cuales forman un conglomerado que endurece conforme progresa una reacción química provocada al combinarse el agua y el cemento.

El **concreto** es un material compuesto que consiste esencialmente de un medio aglutinador en el cual se empotran partículas o fragmentos de agregados.

El concreto de cemento portland el aglutinante es una mezcla de cemento portland y agua.

El **concreto reforzado** es aquel que utiliza acero de refuerzo en la elaboración de los elementos de concreto fabricados.

Los elementos básicos del **concreto** se dividen en dos grupos principalmente:

a) *Activos*. Son **el agua y el cemento**, de los cuales depende la reacción química (esto es su endurecimiento mientras fragua) hasta alcanzar una solidez de gran resistencia (dependiendo de sus proporciones).

b) *Inertes*. Son **la grava y la arena**, que ocupan gran parte del volumen del producto total. Las proporciones en que se mezclan estos elementos varían de acuerdo con la granulometría de los agregados y con la resistencia final requerida.

Los requerimientos ideales para obtener un concreto que resista el paso del tiempo son agregados inertes y durables que se incorporen adecuadamente dentro de la pasta de cemento, la cual deberá estar proporcionada adecuadamente en cuanto al cemento, agua y aire incluido. Una vez elaborado el compuesto resultante deberá ser protegido contra las temperaturas bajas y el secado hasta que haya endurecido adecuadamente.

CEMENTO

El uso de materiales cementantes data desde la antigüedad pues los egipcios ya utilizaban yeso calcinado impuro. La caliza calcinada era utilizada por griegos y romanos los mismos que posteriormente mezclaron cal con agua, arena y piedra triturada o ladrillo y tejas quebradas, lo que podría considerarse el primer concreto de la historia.

Para construcciones que tenían que ver con la acción del agua los romanos utilizaban mezclas de ceniza volcánica y cal o tejas de arcilla quemada trituradas y cal, esto produce lo que se llama cemento puzolánico nombre que actualmente se utiliza para cementos

obtenidos de moler materiales naturales a temperatura normal.

En la evolución del conocimiento acerca de los cementos se da un progreso real a partir del siglo XVIII. En 1756 John Smeaton observó la importancia de la arcilla proveniente de la caliza lo que lo llevó a ser el primero en saber sobre las propiedades químicas de la cal hidráulica.

Después de esto se desarrollaron otros tipos de cementos hidráulicos, el cemento romano de James Parker que posteriormente termina como la patente de cemento Portland en 1824 por Joseph Aspdin.

El **cemento** es el elemento que proviene de la pulverización del producto obtenido mediante una fusión incipiente de materiales arcillosos y piedras calizas con óxidos de calcio (silicio, aluminio y hierro), y con un agregado posterior como yeso (sin calcinar) y agua; como no contiene óxido de calcio en libertad no requiere apagado, siendo esto lo que lo distingue de la cal.

El cemento puede definirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las que le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto.

Los **cementos tipo Portland** son cementos hidráulicos elaborados con materiales cuidadosamente seleccionados, bajo un sistema de regulación exacta, utilizándose materiales calcáreos a base de óxidos de hierro, silicatos y aluminatos de cal (piedra caliza, conchas, greda o marga y materiales arcillosos en los que la sílice es el constituyente principal (arcilla, pizarra o escoria de altos hornos) quemándolos hasta una temperatura de formación de clinkers, y mezclando el clinker resultante, se debe considerar que ningún otro material aparte del yeso y del agua deberá agregarse después de la calcinación.

Se le llama **cemento hidráulico** porque tiene la propiedad de combinarse lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida. Debido a la presencia de este elemento acuático en la mezcla, es capaz de fraguarse y de endurecerse al contacto con el agua, experimentando una reacción química con ella.

Los cementos hidráulicos pueden clasificarse como cementos naturales, cementos Portland y cementos de alta alúmina.

Cuando el cemento se utilizó y fabricó por primera vez a principios del siglo diecinueve en Inglaterra se le llamó **Cemento Portland** por su color (cuando el cemento está fraguado) parecido a un tipo de cantera (Dorset) existente en el Puerto Portland.

Fabricación- Cemento Portland:

La materia prima para la fabricación de este cemento se encuentra en casi todos los países del mundo.

La materia prima es molida y mezclada minuciosamente bajo ciertas proporciones para después ser calcinada en un horno rotatorio muy grande a una temperatura aproximada a los 1400 grados centígrados, ahí el material se sintetiza y se funde parcialmente, formando bolas que normalmente conocemos como **clinker**, las cuales se enfrían y trituran hasta obtener un polvo fino, al cual se le agrega un poco de yeso posteriormente para obtener lo que comercialmente conocemos como **Cemento Portland**.

La mezcla y trituración de las materias primas se puede realizar en condiciones secas o húmedas, lo cual define los procesos Húmedo y seco de fabricación, además deberá considerarse la dureza y el contenido de humedad de la materia prima utilizada.

Proceso húmedo

Si se utiliza magra ésta es triturada finamente y dispersada en agua en un molino de lavado. Por otro lado la arcilla también se tritura y se mezcla con agua en un molino semejante al anterior. Las dos mezclas obtenidas se mezclan en proporciones determinadas por medio de bombeo y posteriormente se criban en diferentes etapas. La lechada resultante pasa a los estanques de almacenamiento.

Si es utilizada caliza, se barrena, tritura y luego es depositada en un molino de bolas, en el cual se encuentra la arcilla dispersa en agua y se continúa el molido de la caliza hasta lograr una finura parecida a la de la harina. La lechada resultante pasa a estanques de almacenamiento por medio de bombeo.

De aquí en adelante el proceso será el mismo para cualquiera de las materias primas utilizadas.

La lechada es un líquido cremoso con un contenido de agua del 35 al 50% y en los tanques de almacenamiento la sedimentación de los sólidos es impedida a través de burbujeo de aire comprimido o de agitación mecánica.

Se utilizan tanques de mezclado para mezclar lechadas de diferentes almacenamientos y obtener una mejor composición química.

El producto pasa a un horno rotatorio de hasta 230m de longitud con una inclinación hacia la horizontal. La lechada se deposita por la parte superior y se agrega carbón pulverizado por medio de inyección de aire en el extremo inferior a una temperatura de 1400 a 1500 grados centígrados.

En lugar de carbón también se puede utilizar petróleo o gas natural. La lechada desciende en el horno pasando por temperaturas que van en aumento, en el proceso se elimina el agua y se libera CO₂, el material seco sufre una serie de reacciones químicas hasta que, en la parte

más caliente del horno, del 20 al 30% del material se vuelve líquido y la cal, sílice y alúmina vuelven a combinarse.

El producto es una masa fundida en bolas de entre 3 y 25mm, llamadas clinker el cual pasa por un proceso de enfriamiento en enfriadores de diferentes tipos; ya frío es de color negro, reluciente y duro y es mezclado con yeso en un molino de bolas de acero o en un sistema de mezclado de circuito cerrado para evitar un fraguado relámpago en el cemento.

El circuito cerrado de mezcla permite la obtención de un material de finura adecuada (ni demasiado fino, ni demasiado grueso) 1.1 x 10¹² partículas por kilogramo, el cual es empacado para su venta.

Procesos Seco y Semiseco

Las materias primas se trituran y se agregan en proporciones adecuadas en un molino de mezcla, donde son secadas y reducidas a un polvo fino que cuando está seco es llamado grano molido crudo, éste se bombea a un silo de mezclado a base de cuadrantes que utiliza aire comprimido para que en movimientos ascendentes se reduzca la densidad aparente del polvo.

El material aireado tiende a comportarse como un líquido y si se airean todos los cuadrantes al mismo tiempo por una hora, se obtiene una mezcla uniforme. También se pueden utilizar sistemas de mezclado continuo.

Ya mezclado se pasa por un tamiz y se coloca en un granulador en el que simultáneamente se agrega agua en proporción de un 12% del peso del grano molido adicionado. El resultado son pastillas duras de 15mm de diámetro interior las que se hornean en una rejilla de precalentamiento hasta endurecer, después se depositan en el horno y el proceso que continúa es el mismo que en el caso del proceso húmedo.

En el proceso por vía seca el grano crudo se pasa por un precalentador de suspensión hasta alcanzar una temperatura de cerca de 800 grados centígrados para después colocarlo en el horno, entre el precalentador y el horno se pasa por un calcinador fluidizado para incrementar la descarbonatación del grano crudo antes de colocarlo en el horno cuyo tamaño es menor que el tamaño de los hornos utilizados para el proceso húmedo. Este proceso se utiliza generalmente para reducir el consumo de energía requerida para la incineración ya que representa entre el 40 y el 60% del costo total de la producción, la extracción de materias primas representa solamente el 10% del total del material.

Existen otros procesos en los que se obtiene cemento Portland y dióxido de azufre a través de quemar yeso, arcilla y coque con arena y óxido de hierro.

En todos los procesos es necesaria una buena mezcla de las materias primas y una distribución uniforme nos dará un producto uniforme.

Composición Química del cemento

Las materias primas utilizadas en la fabricación del cemento (*cal, sílice, alúmina y óxido de fierro*) interactúan en el horno para poder formar productos más complejos y alcanzar un estado de equilibrio químico, pero el proceso no es perfecto y queda un pequeño residuo de cal sin combinar y que no ha reaccionado por falta de tiempo. La velocidad durante el enfriamiento es muy importante ya que afectará el grado de cristalización y el contenido de material amorfo en el clinker resultante, todo esto debido a que el equilibrio químico no se conserva durante dicho enfriamiento.

El material amorfo se conoce como vidrio y sus propiedades son diferentes a las de los demás compuestos cristalinos en el proceso. Otro problema es la interacción entre la parte líquida

del clinker con los compuestos cristalinos presentes.

Con todo esto se considera que el cemento se encuentra en estado de equilibrio congelado, esto es, que como producto congelado reproduce el equilibrio presente durante la temperatura de formación del clinker. De esta forma se calcula la composición de los cementos comerciales; la composición potencial se calcula con las cantidades exactas de óxidos en el clinker, considerando una cristalización total de los productos en equilibrio.

Los componentes principales del cemento son los siguientes cuatro compuestos:

Silicato tricálcico
Silicato dicálcico
Aluminato tricálcico
Aluminoferrito tetracálcico

TABLA

Nombre	Composición de Oxido	Abreviatura
Silicato tricálcico	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
Silicato dicálcico	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
Aluminato tricálcico	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
Aluminoferrito tetracálcico	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

Los silicatos del cemento no están en estado puro y contienen cantidades pequeñas de óxidos en soluciones sólidas. La importancia de saberlo es que éstos óxidos afectan los ordenamientos atómicos, las formas cristalinas y las propiedades hidráulicas de los silicatos. Para calcular la composición potencial del cemento portland se utiliza la "Composición Bogue" cuyas ecuaciones para determinar el porcentaje de compuestos principales en el cemento son las siguientes:

$$C_3S = 4.07(CaO) - 7.60(SiO_2) - 6.72(Al_2O_3) - 1.43(Fe_2O_3) - 2.85(SO_3)$$

$$C_2S = 2.87(SiO_2) - 0.754(3CaO.SiO_2)$$

$$C_3A = 2.65(Al_2O_3) - 1.69(Fe_2O_3)$$

$$C_4AF = 3.04(Fe_2O_3)$$

Los componentes menores (Llamados así por su porcentaje no por su importancia) existentes son MgO, TiO₂, Mn₂O₃, K₂O y Na₂O; los dos últimos conocidos como álcalis reaccionan con algunos agregados y los productos de esta reacción ocasionan desintegración del concreto además de afectar la rapidez del cemento para adquirir resistencia. El contenido de álcalis y de Mn₂O₃ se determina por medio de un espectrofotómetro.

La composición de los componentes del cemento se puede obtener por medio de análisis químicos y del clinker en particular por medio de la utilización del microscopio examinando preparaciones del polvo, identificándola con medidas del índice de refracción. Cabe mencionar que es de gran importancia el uso del microscopio electrónico.

Todo esto se ha simplificado con la utilización de métodos como la fluorescencia de rayos X y el microanálisis por sondeo electrónico para la composición elemental del cemento y la difracción de rayos X para determinar la cantidad de CaO libre, importante para determinar el trabajo del horno.

El C₃S se presenta en forma de granos incoloros equidimensionales y si el enfriamiento es rápido permanece sin alteraciones y estable a temperaturas normales.

El C₂S posee tres o cuatro formas cristalinas de las cuales la Beta C₂S es la que permanece en el clinker en forma de granos redondeados asociados por pares.

El C₃A forma cristales rectangulares que al enfriarse como vidrio constituye una fase amorfa intersticial.

El C₄AF es una solución sólida.

Las cantidades de los compuestos varían en cada cemento y los límites de los óxidos en la composición del cemento son los siguientes :

Oxido	Contenido, porcentaje
CaO	60-67
SiO ₂	17-25
Al ₂ O ₃	3-8
Fe ₂ O ₃	0.5-6.0
MgO	0.1-4.0
Alcalis	0.2-1.3
SO ₃	1-3

Para un cemento normal la composición de óxidos y la mezcla de compuestos obtenidos por medio de Bogue son las siguientes:

Porcentaje de la Composición normal de oxido	Porcentaje de la composición calculada de los compuestos	
CaO	63	C ₃ A 10.8
SiO ₃	20	C ₃ S 54.1
Al ₂ O ₃	6	C ₂ S 16.6
Fe ₂ O ₃	3	C ₄ AF
9.1		
MgO	1.5	Compuestos menores -
SO ₃	9	
K ₂ O	1	
Na ₂ O	1	
Otros	1	
Pérdida por ignición	2	
Residuo insoluble	0.5	

El residuo insoluble es resultado de las impurezas del yeso y sólo es permitido que exista en un 1.5 % del peso total del cemento.

La pérdida por ignición mide el grado de carbonatación e hidratación de la cal libre y de la magnesia libre, por la exposición del cemento a la atmósfera.

El valor máximo permitido es de 3% en clima templado y del 4% en los trópicos.

Es de gran importancia controlar la composición de los óxidos en el cemento ya que los cambios pueden ocasionar alteraciones importantes en la relación de los silicatos.

Cemento Hidratado

Los silicatos y aluminatos en presencia de agua forman productos de hidratación, los que producen lo que se conoce como pasta de cemento endurecida y los componentes del cemento reaccionan con el agua de dos maneras; primero una reacción de hidratación real producto de la adición directa de algunas moléculas con el agua; segundo una hidrólisis.

A todas las reacciones del cemento con el agua se les denomina hidratación.

En el cemento los dos componentes que se consideran los más cementantes son los silicatos de calcio y el comportamiento físico del cemento durante la hidratación es igual al comportamiento físico de ambos compuestos por separado.

Ahora por otro lado los productos resultantes de la hidratación del cemento tienen baja solubilidad en agua, lo que produce la estabilidad de la pasta endurecida al entrar en contacto con el agua, de tal forma que el cemento hidratado reacciona con el cemento que no ha reaccionado enlazándose firmemente.

La velocidad de hidratación disminuye continuamente y aún después de que ha transcurrido mucho tiempo, permanece una cantidad de cemento deshidratado.

La hidratación avanza mediante una reducción gradual del tamaño de la partícula de cemento.

Los hidratos pueden clasificarse en hidratos de silicato de calcio y en hidratos de aluminato tricálcico.

Algunos métodos para determinar el desarrollo del proceso de hidratación se pueden indicar por medio de medir:

La cantidad de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en la pasta

El calor cedido por la hidratación

La densidad específica de la pasta

La cantidad de agua químicamente combinada

La cantidad de cemento deshidratado

De la resistencia de la pasta hidratada (método indirecto)

Estudio de las reacciones de pasta húmedas en procesos de hidratación

Hidratos de silicato de calcio

Existen diminutas impurezas de los óxidos existentes en el clinker en los silicatos de calcio. El silicato tricálcico impuro se conoce como alita y el silicato bicálcico impuro se conoce como belita. Las impurezas en los mismos tienen un efecto importante en las propiedades de los hidratos de silicato de calcio.

Los hidratos de silicato de calcio existen en diferentes formas como partículas fibrosas, partículas planas, y malla reticular y su estructura se presenta de forma desordenada. Las propiedades físicas de los hidratos de silicato de calcio son importantes en relación a las propiedades de fraguado y endurecimiento del cemento.

Estos hidratos muestran un desarrollo de resistencia muy similar al del cemento Portland, esto es, se obtiene una gran resistencia antes de que la hidratación termine y una hidratación posterior da un aumento de resistencia más pequeño ó nulo.

Hidrato de aluminato tricálcico y Yeso

La reacción del aluminato tricálcico puro con agua es muy violenta y nos conduce a un inmediato endurecimiento de la pasta (fraguado relámpago). Para evitarlo se agrega yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) al clinker del cemento. El yeso y el aluminato tricálcico reaccionan para formar un sulfoaluminato insoluble de calcio y a pesar de ello a veces se forma un hidrato de aluminato tricálcico, lo cual se denota al observarse un máximo en la velocidad de desarrollo de calor en los 5 minutos posteriores a la adición de agua al cemento.

El hidróxido de calcio liberado por la hidrólisis de los silicatos de calcio retarda la hidratación del aluminato tricálcico.

La cantidad de yeso añadida al clinker del cemento deberá vigilarse cuidadosamente ya que un exceso puede llevar a una expansión y al rompimiento de la pasta fraguada de cemento.

Finura del cemento

La finura del cemento es una propiedad vital del cemento y tiene que someterse a un control cuidadoso.

La velocidad de hidratación depende de la finura de las partículas del cemento por lo que para un desarrollo rápido de la resistencia se requiere un alto grado de finura.

El moler las partículas hasta un grado muy fino tiene su costo y entre más fino es el cemento se deteriora más rápidamente por la atmósfera.

Un cemento fino sangra menos que uno más grueso y mejora levemente la trabajabilidad de una mezcla de concreto.

Al aumentar la finura del cemento se aumentará la cantidad de yeso requerida para propiciar un efecto retardante adecuado.

El fraguado

Se llama *periodo de fraguado* al periodo inicial de endurecimiento (cambio del estado fluido al estado rígido) de la pasta formada cuando el cemento es mezclado con agua. Dicha pasta permanece plástica durante ese corto periodo de tiempo durante el cual es posible alterar el material y remezclarlo sin ocasionarle daños, a medida que las reacciones entre el cemento y el agua continúan, la masa va perdiendo esta plasticidad. Cuando ya no hay respuesta al retrabajado o a la revibración posterior es cuando comienza el endurecimiento y se empieza a desarrollar la resistencia del material.

Es importante mencionar que las reacciones que producen el endurecimiento del cemento (Portland) se caracterizan por la liberación de calor, el cual es llamado **calor de hidratación** y es de suma importancia para la utilización del cemento.

El *calor de hidratación* es la cantidad de calor en calorías por gramo del cemento deshidratado, dispersado por una hidratación completa a una temperatura dada. Debido a muchas reacciones químicas la hidratación de compuestos del cemento es exotérmica y debido a que la conductividad del concreto es baja, actúa como aislante, y en el interior de una masa grande de concreto, la hidratación puede producir un fuerte aumento en la temperatura. Al mismo tiempo la masa exterior del concreto pierde calor, de tal forma que se produce un fuerte gradiente de temperatura.

Se recomienda conocer las propiedades productoras de calor de diferentes cementos para poder elegir el cemento más adecuado para cada finalidad.

Para variedades usuales de cemento Portland alrededor del 50% del calor total se libera entre uno y tres días, el 75% en siete días y del 83 al 91% en seis meses.

El calor de hidratación del cemento es aproximadamente igual a la suma de los calores de hidratación de los componentes individuales, hidratados por separado.

La velocidad de desarrollo de calor, así como el calor total, dependen de la mezcla de los componentes y de la finura del cemento (la finura no afecta al calor total liberado, solo a la velocidad de desarrollo).

En muchas aplicaciones del concreto se recomienda tener un desarrollo de calor controlado.

Podríamos concluir diciendo que el calor de hidratación es una función aditiva de la mezcla de los componentes del cemento.

El fraguado falso

El **fraguado falso** también es llamado **endurecimiento prematuro** y consiste en el endurecimiento inicial de la pasta o del *concreto* que se presenta entre el primero y el quinto minutos después del mezclado. Este proceso de fraguado falso se puede romper o eliminar por medio de un mezclado continuo o un remezclado. En obras donde se distribuye el concreto con camiones mezcladores o en obras donde el concreto es mezclado en una planta central y agitado en el camino a la obra el *fraguado falso* puede pasar desapercibido. Se deberá verificar si el cemento presenta tendencia al *fraguado falso* si se tienen evidencias de fraguado errático o rigidez rápida temprana, una demanda mayor de agua, incremento de agrietamiento, bajas resistencias o contenido errático de aire incluido.

Causas del *fraguado falso*:

La causa más común es la deshidratación parcial del yeso, formándose el yeso de París, que resulta si la temperatura se eleva demasiado durante la molienda. El yeso deshidratado comienza a endurecerse

rápidamente al agregarse agua al cemento provocando un endurecimiento temprano.

El remezclado tiende a romper este proceso de fraguado sin afectar el fraguado normal. Por esto para mantener la temperatura abajo del punto de deshidratación del yeso se hace necesario el enfriamiento de los molinos, una práctica común es enfriar el clinker antes de la molienda.

Tipos de Cemento (Portland y otros)

Principales cementos Portland

Descripción Inglesa

Descripción ASTM

Portland Normal

Tipo I

Portland de fraguado rápido

Tipo III

Portland de fraguado extra rápido

Portland de ultra alta resistencia rápida

Portland de bajo calor

Tipo IV

Cemento Modificado

Tipo II

Portland resistente a los sulfatos

Tipo V

Portland de escoria de alto horno

Tipo IS

Portland Blanco

Portland Puzolana

Tipo IP y Tipo P

Cemento con escoria

Tipo S

Muchos cementos se han desarrollado para asegurar buena durabilidad del concreto sometido a gran variedad de condiciones. Las principales propiedades mecánicas del concreto endurecido, como resistencia, contracción, permeabilidad, resistencia a la intemperie, y fluencia, se ven afectadas también por factores distintos de la constitución del cemento.

En muchas ocasiones existen muchas diferencias entre cementos del mismo tipo y las clasificaciones son realizadas a grandes rasgos.

Los métodos de elaboración de cemento han mejorado con los años y ha habido una constante evolución en la fabricación de los mismos.

Hay diferentes tipos de Cemento:

Cemento Portland Normal

(Común y corriente) el cual es un cemento de uso general; Es excelente para construcciones de concreto en general, siempre y cuando no estén expuestas a suelos de alto nivel fríasico o suelos con alto contenido de sulfatos.

Composición química-Restricciones: El factor de saturación de cal deberá estar en el intervalo 0.66-1.02, obteniéndose de la siguiente fórmula:

$$\frac{1.0(\text{CaO}) - 0.7(\text{SO}_3)}{(2.8(\text{SiO}_2) + 1.2(\text{Al}_2\text{O}_3) + 0.65(\text{Fe}_2\text{O}_3))}$$

El contenido de magnesia no deberá ser mayor de un 4%, los residuos insolubles no deberán ser mayores del 1.5% y la pérdida por ignición se limita a un 3% en climas templados y a un 4% en climas tropicales, y se limita también el contenido de yeso.

Los cementos modernos tienen un mayor contenido de silicato tricálcico y finura que los cementos de hace 60 años, por lo general alcanzan una resistencia final de aproximadamente 204 Kg/cm² para un concreto curado continuamente con agua y con una relación agua cemento de 0.5

Cemento Portland de alta resistencia y fraguado rápido

Utilizado en obras de corto límite de tiempo donde se requiere utilizar al máximo la cimbra y el trabajo del concreto lo más rápido posible; Es un cemento de alta resistencia a edad temprana. Es importante no confundir la rapidez de endurecimiento con la rapidez de fraguado, por ejemplo: el cemento normal y el de alta resistencia tienen tiempos de fraguado similares.

El cemento de fraguado rápido desarrolla la misma resistencia a los tres días que el cemento normal a los siete días, con una misma relación agua/cemento; y esto se debe a un mayor contenido de silicato tricálcico en algunos casos de más del 70% y a una molienda más fina del clinker del cemento. Los requerimientos de consistencia y de composición química de este cemento son los mismos que para el cemento normal.

Este cemento es utilizado para cuando se requiere un desarrollo rápido de resistencia, ejemplo; cuando la cimbra debe quitarse rápido para volverse a utilizar ó cuando se requiere continuar la obra con máxima rapidez.

Debido a la mayor liberación de calor de hidratación no deberá utilizarse en construcciones masivas ni en secciones estructurales grandes; se recomienda su utilización en construcciones hechas a bajas temperaturas pues con la mayor liberación de calor se protege del problema de congelación prematura.

Cementos Portland especiales de fraguado rápido

Cemento Portland de Fraguado extra-rápido; Se obtiene al integrar cloruro de calcio durante el molido del cemento portland de fraguado rápido, esta cantidad no deberá exceder del 2%.

Este cemento se recomienda ser almacenado en un ambiente seco y utilizarse antes de transcurrido un mes a partir de su fabricación.

Su uso estructural con acero de refuerzo no es recomendable por el problema de la corrosión.

Es conveniente en construcciones de concreto en clima frío ó cuando se requiere una resistencia muy alta a edades muy tempranas.

Cemento Portland de ultra-alta resistencia rápida;

No contiene aditivos y se recomienda para concretos reforzados y pesforzados y el desarrollo de su alta resistencia depende de la finura del cemento y a un 4% más de contenido de yeso el cual es consumido en las primeras reacciones de hidratación por lo que no tiene efectos negativos en los cambios de volumen del concreto. Tiene baja densidad aparente y se deteriora con rapidez ante la intemperie.

En comparación con el cemento de fraguado rápido la resistencia a los tres días la alcanza a las 16 horas y la de siete días a las veinticuatro horas. El uso de este cemento reduce la trabajabilidad del material.

Se puede encontrar en sus dos versiones swifcrete y Speed. El cemento speed es de finura un poco menor y es adecuado para colar concreto en invierno o para trabajos urgentes.

Otro cemento de resistencia alta muy rápida es el **Cemento de fraguado regulado o cemento jet**, que se fabrica en Estados Unidos de Norteamérica; es una mezcla de cemento Portland y aluminato de flúor y calcio, con un retardante adecuado (ácido cítrico). El tiempo de fraguado varía entre 1 y 30 minutos, controlándose durante el proceso de molienda y quemado de las materias primas(juntas). También se elabora en Japón, Austria y Alemania.

Cemento Portland de bajo calor

Es un cemento especial para grandes secciones y cuando se necesita que la cantidad de calor sea mínima; El incrementar la temperatura en el interior de una masa grande de concreto, puede provocar agrietamientos de seriedad y por esta razón es necesario en ciertos casos limitar la evolución del calor del cemento utilizado, y esto se logra disipando calor para tener una elevación menor de temperatura.

Este cemento de bajo desarrollo de calor se produjo por primera vez en Estados Unidos para la construcción de grandes presas.

En su fabricación se utiliza menor cantidad de Silicato tricálcico y de Aluminato tricálcico lo que da como resultado menor desarrollo de resistencia en relación al cemento portland normal, a pesar de ello la resistencia última no se ve afectada. Se fabrica también un cemento de bajo calor de alto horno.

El cemento portland-puzolana tipo P puede especificarse como de la variedad de bajo calor, y el cemento portland puzolana Tipo IP puede requerir un calor moderado de hidratación

Cemento modificado que contiene menor cantidad de calor de hidratación en relación al cemento normal, tiene mayor resistencia al ataque de los sulfatos; Este cemento combina de forma adecuada una proporción mayor de desarrollo de calor que la del cemento de bajo calor con un aumento de resistencia parecida a la del cemento Portland normal.

Su utilización es en estructuras donde se desea un calor de hidratación moderadamente bajo, o cuando las estructuras pueden estar expuestas a los ataques moderados de sulfatos.

Cemento resistente a sulfatos

Utilizado en estructuras que están expuestas a una acción de sulfatos en gran cantidad; En el cemento endurecido, el hidrato de aluminato de calcio puede reaccionar con alguna sal de sulfato que venga del exterior, produciendo un sulfoaluminato de calcio que se formará dentro de la masa de la pasta de cemento hidratado, lo que provoca una desintegración gradual del concreto. La combinación de los sulfatos con el hidróxido de calcio da como resultado la formación de yeso incrementando el volumen de la fase sólida en un 124%. El ataque de los sulfatos se acelera si va acompañado de estados recíprocos mojados y secos (Tal es el caso de una estructura marina).

La solución se encuentra en utilizar un cemento con bajo contenido de aluminato tricálcico en una cantidad del 3.5% en Inglaterra y del 5% en Estados Unidos.

El calor desarrollado por el cemento resistente a los sulfatos no es mayor que el del cemento de bajo calor, pero por causa de los requerimientos especiales para la composición de la materia prima para su fabricación este proceso resulta poco económico.

Cemento Portland de Escoria de Alto Horno

Se fabrica moliendo juntos clinker de cemento Portland y escoria granulada de alto horno, en una proporción que no exceda el 65% del peso de la mezcla. La escoria de alto horno es un producto de desecho producto de la fabricación de hierro en lingotes. Esta es una combinación de cal, sílice y alúmina, los mismo óxidos componentes del cemento Portland pero en diferente proporción.

La composición y estructura física de la escoria varía dependiendo del proceso de fabricación y proceso de enfriamiento del que es obtenida

Al tomarse como ingrediente en el cemento el material deberá ser apagado hasta que

solidifique como vidrio, impidiendo así la formación de cristales.

La escoria granulada de hierro y el clinker del cemento se colocan en un molino y se agrega yeso para el control del fraguado.

Existe otro proceso en la elaboración del concreto en el cual la escoria granulada se introduce en la mezcladora en forma de lechada junto con el cemento Portland y los agregados. Existen otras variantes de este proceso en las que se coloca la escoria en seco durante la elaboración del concreto en obra.

Este cemento es muy parecido al cemento portland normal y se rige bajo los mismos requerimientos de normatividad.

El calor de hidratación del cemento de escoria de alto horno es menor que el del cemento normal por lo que se puede utilizar en estructuras masivas de concreto. No se recomienda su utilización en clima frío ya que se pueden producir daños por congelamiento, pero se utiliza frecuentemente en construcciones marinas debido a su alta resistencia a los sulfatos.

Cemento sobresulfatado

No es un cemento Portland pero se elabora con escoria granulada de alto horno. Se fabrica al combinar del 80 al 85% de escoria de hierro granulada con un 10 al 15% de sulfato de calcio y aproximadamente 5% de escoria de cemento Portland. Se debe almacenar en lugares secos pues se deteriora fácilmente; Es muy resistente al agua de mar y resiste concentraciones altas de sulfato, a la descomposición de compuestos orgánicos y a los derivados del petróleo. Se utiliza en la construcción de alcantarillas y en suelos contaminados.

Se recomienda para construcciones de concreto masivo, teniendo cuidado en climas

fríos ya que tiene una velocidad de endurecimiento pequeña a bajas temperaturas.

En la elaboración de concreto con este tipo de cemento no se deberán considerar relaciones agua-cemento menores de .4 y proporciones no menores a 1:6

Cementos Portland Puzolana y Puzolanas

El cemento Portland Puzolana es el producto de mezclas combinadas de puzolanas y cemento portland.

La puzolana es un material natural o artificial que contiene sílice en forma reactiva.

Es un material silíceo o silicoaluminoso, el cual tiene poco o ningún valor cementante, pero en forma muy dividida y en presencia de humedad reaccionará químicamente con hidróxido de calcio para formar un compuesto con propiedades cementantes.

Algunos materiales puzolánicos:

Ceniza volcánica, ceniza volante, arcilla quemada, pumicita, tierras diatomáceas calcinadas, esquistos de opalina, etc.

Efecto puzolánico. La actividad puzolámica consiste en la fijación del hidróxido de calcio por la puzolana, así entre menor sea la cantidad de hidróxido de calcio mayor será el efecto puzolánico.

Los cementos Portland puzolana necesitan de mayor tiempo de curado ya que adquieren resistencia con mayor lentitud y su resistencia última es la misma que la del cemento Portland Normal.

Debido a la lenta hidratación tienen un bajo calor de hidratación lo cual es una de sus ventajas sobre todo en obras de concreto masivo.

Son resistentes a los ataques por sulfato y a algunos agentes destructivos, reducen la permabilidad del concreto entre 7 y 10 veces.

*maestría
jare*

permiten una menor liberación de cal, tienen poca resistencia a la congelación en edades tempranas, además de que varían de manera considerable en sus efectos buenos y malos.

Cemento blanco

Para fines arquitectónicos en ocasiones se requiere la utilización de concreto blanco hecho de materias primas con contenido de óxido ferroso y manganeso, se utiliza arcilla blanca junto con una caliza, libre de impurezas. En la combustión se utiliza petróleo para evitar contaminación y se utiliza criolita como fundente (fluoruro de aluminio sódico). Se utiliza el método de molienda por medio de guijarros o bolas de níquel y molibdeno.

En la elaboración de concreto con cemento blanco se preparará la mezcla de forma bien proporcionada y con una relación agua-cemento no mayor de 0.4.

Existen cementos coloreados que son a base de cemento blanco y pigmentos en un porcentaje del 2 al 10%.

La resistencia del cemento blanco es menor que la del cemento normal pero cumple con los requerimientos de normatividad establecidos.

Se fabrica también cemento blanco de alta alúmina.

Cemento antibacteriano

Es un cemento Portland combinado con un agente antibacteriano que previene la fermentación microbiológica. Se utiliza en plantas procesadoras de alimentos, albercas, baños públicos y lugares donde hay presencia de hongos o bacterias.

Cemento hidrofóbico

Es un cemento que se deteriora muy poco en periodos largos de almacenamiento. Se obtiene de la mezcla de cemento Portland con

ácido oleico en una proporción de .1 a .4%. Se pueden utilizar ácido esteárico o pentaclorofenol.

El proceso hidrófobico consiste en una capa protectora en forma de película repelente al agua alrededor de cada partícula de cemento, la que se rompe en el proceso de mezclado del concreto. La resistencia del material a edades tempranas es menor. El cemento hidrofóbico no es un cemento impermeabilizante.

Cemento de albañilería

Es el utilizado en el mortero cuando se realizan trabajos con tabique, es producto de la combinación de cemento portland muy fino con calizas y un agente inclusor de aire o combinando cemento Portland, cal hidratada, escoria granulada y un agente inclusor de aire.

El mortero producido por estos cementos es más plástico con poder para retención de agua lo que reduce la contracción.

El cemento de albañilería no debe utilizarse en concreto estructural.

Cementos Portland compuestos

Son el resultado de agregar un producto inerte como relleno al cemento portland para el ahorro de energía. Se utiliza piedra caliza molida a la misma finura que el cemento portland en una proporción del 10 al 15% del total. El relleno mejora la trabajabilidad y no tiene valor cementante y los cementos de este tipo se utilizan en concretos de baja resistencia. Cabe mencionar que el porcentaje de relleno varía de acuerdo al país en que es producido.

Cementos naturales

Existe una roca llamada roca cemento (caliza arcillosa) la cual se calcina y se muele para obtener un cemento semejante al cemento Portland.

Es un producto intermedio entre la cal hidráulica y el cemento Portland. Son variables en calidad y de endurecimiento lento.

Cementos expansivos

Son concretos que no cambian de volumen debido a la contracción por secado y en casos especiales se expanden durante el endurecimiento.

Se fabrican utilizando una mezcla de cemento portland, un agente expansivo y un estabilizador.

El Agente Expansivo Se obtiene al quemar una mezcla de yeso, bauxita y caliza, que forman sulfato de calcio y aluminato de calcio que al tener contacto con el agua forman hidrato de sulfoaluminato de calcio y producen la expansión de la pasta.

La escoria de alto horno se utiliza como estabilizador controlando el exceso de sulfato de calcio y finaliza la expansión. Por lo general se mezclan 8 a 20 partes de clinker sulfoaluminado, 100 partes de cemento y 15 partes de estabilizador.

Cemento expansivo de alta energía

Es producto de la mezcla de escoria de cemento Portland, clinker de cemento de alta alúmina y yeso en proporción 65:20:15. También se conoce como cemento Tipo M. Fragua y endurece rápidamente obteniendo resistencias de 70 kG/cm² en 6 horas y 490Kgs/cm² a los 28 días. Posee alta resistencia a los ataques por sulfatos.

Existen otros cementos expansivos como: Tipo K producido en California en el que la rapidez y la magnitud de la expansión parecen ser más confiables. En Japón se produce un agente expansivo similar y la mezcla con el cemento se hace en la revolvedora; Tipo S que contiene aluminato tricálcico en mayores proporciones y sulfato de calcio intermolido también en mayores cantidades.

La utilización de cementos expansivos requiere de experiencia y habilidad ya que la expansión se lleva a cabo sólo cuando el concreto está húmedo.

Cemento de alta alúmina

Consta de porciones iguales de cal y alúmina del 40% cada una, óxidos ferrosos y férricos y sílice en una cantidad aproximada al 8%.

Se obtiene a partir de piedra caliza o yeso y bauxita (deposición residual en rocas que contienen aluminio) la cual consiste en alúmina hidratada, óxidos de hierro, titanio y sílice.

El cemento de alta alúmina es resistente al agua de mar, a algunas soluciones muy diluidas de ácidos a excepción de ácidos hidroclicóricos, hidrofúoricos o nítricos, no es atacado por el bióxido de carbono, a los sulfatos, pero no es resistente a los álcalis cáusticos los que lo atacan con gran fuerza.

Una de sus características principales es su gran desarrollo de resistencia; alcanza en 24 hrs el 80% de su resistencia última, debido a esto un concreto elaborado con este cemento puede descimbrarse a las 6 u 8 horas.

El proceso consiste en una rápida hidratación con un alto índice de desarrollo de calor. Hay que señalar que el endurecimiento rápido no va acompañado por fraguado rápido.

El cemento de alta alúmina es de fraguado lento, pero el fraguado final sigue al inicial con mayor rapidez que otros cementos. Las medidas son las siguientes: fraguado inicial: de 4 a 5 horas; fraguado final, 30 minutos después. No se recomienda utilizar aditivos en este tipo de cementos.

Si se mezcla cemento portland y cemento de alta alúmina y cualquiera de los dos significa del 20 al 80% de la mezcla, un fraguado relámpago puede aparecer. Esto puede ser positivo cuando se realizan construcciones para detener el acceso de agua o entre bajas y altas de marea.

El cemento de alta alúmina produce una mezcla con mayor trabajabilidad que la que produce el cemento Portland.

LOS AGREGADOS

Son elementos importantes en la fabricación del concreto por ser los que dan cuerpo al mismo, por lo que deberán estar muy bien cuidadas sus especificaciones y proporciones en la mezcla.

De la calidad de los agregados así como de sus características físicas, químicas y mecánicas dependerán los resultados buscados en el concreto.

Si consideramos a los agregados como un material de construcción que junto con la pasta de cemento forman un todo cohesivo, tendremos que pensar en ellos como algo más que materiales inertes ya que la realidad es que sus propiedades tanto físicas como químicas y térmicas influyen en el comportamiento del concreto así como en la durabilidad y la resistencia del mismo. Los agregados proporcionan al concreto una enorme ventaja técnica, ya que gracias a ellos tendrá mayor durabilidad y estabilidad volumétrica que si sólo fuera pasta de cemento. Otra de sus ventajas es la economía ya que son más baratos que el cemento.

Los agregados varían en tamaños desde unas décimas de milímetro hasta tamaños máximos ya establecidos.

Granulometría es la distribución de las partículas de los agregados según su tamaño. Hablar de baja granulometría es hablar de agregados con gran variedad de tamaños (agregado en bruto), y para un concreto de alta calidad se requieren agregados que cumplan con dos rangos de tamaño.

Se dice que tenemos una granulometría escalonada cuando se evitan uno o más tamaños de fracciones intermedias, y se habla

de granulometría continua cuando la granulometría común se pretende diferenciar de la granulometría escalonada.

Es de gran importancia el uso de agregados cuya granulometría permita obtener una trabajabilidad adecuada y la menor segregación posible.

No se debe olvidar que en la práctica utilizamos los agregados que están disponibles en el lugar y que si lo hacemos de manera inteligente y con el cuidado necesario, podremos producir con ellos un buen concreto.

El agregado fino o arena es aquel que tiene un tamaño no mayor de 5mm con un límite de tamaño menor de .007mm y el agregado grueso que abarca los tamaños mayores de 5mm. El agregado de tamaño entre .002 y .06 mm es conocido como limo y a las partículas más pequeñas se les conoce como arcillas. Por ejemplo la marga es un depósito blando formado por arena limo y arcilla.

Se debe mencionar que utilizar los términos agregado y arena no es correcto puesto que es agregado fino y agregado grueso.

Los agregados se obtienen por fragmentación natural o artificial de una masa mayor y la mayoría de sus propiedades dependen de las propiedades del material que les dio origen, aunque otras propiedades dependerán de su forma, tamaño, textura superficial y de su absorción; todas ellas juntas pueden influir en el concreto en estado fresco o endurecido.

Es importante observar el comportamiento general de los agregados dentro del concreto tomando en cuenta las propiedades en su totalidad; por lo general un buen concreto se obtendrá de agregados cuyas propiedades son óptimas en su totalidad, por otro lado, los agregados pobres en sus características no hacen un concreto satisfactorio; pero esto no siempre se debe tomar como regla general.

Al muestrearse un material de agregados es necesario asegurarse que la muestra analizada sea representativa de las propiedades

promedio del agregado. La muestra principal se formará de diferentes porciones tomadas de diferentes puntos del total. El número mínimo de estas porciones será de 10 y su peso dependerá del tamaño máximo de las partículas.

Clasificación

Los exámenes geológicos de los agregados son importantes para evaluar su calidad y para su comparación con agregados nuevos.

Se pueden clasificar desde el punto de vista petrológico o desde el punto de vista mineralógico, lo cual se presenta en las siguientes tablas

Clasificación mineralógica

Minerales silíceos(cuarzo, ópalo, calcedoni, tridimita, cristobalita)

Feldespatos

Minerales de mica

Minerales de carbonato

Minerales de sulfato

Minerales de sulfuro de hierro

Minerales ferromagnésicos

Zeolitas

Óxidos de hierro

Minerales arcillosos

Clasificación Petrológica

Características externas

Redondez. Es la medida de la angularidad o filo relativos de los bordes de una partícula.

Se pueden considerar 2 tipos de clasificación para la redondez las que se muestran a continuación:

Clasificación en Estados Unidos de Norteamérica

Bien redondeada- sin superficie original

Redondeada- han desaparecido casi todas sus caras

subredondeada- desgaste considerable, caras de área reducida

subangular- se observa cierto desgaste pero las caras están intactas

Angular- poca evidencia de desgaste

El **factor de angularidad** es la relación entre el volumen sólido de los agregados sueltos y el volumen sólido de esferas de cristal de una granulometría especificada.

La angularidad de los agregados es la que determina la proporción de cavidades que existen en una muestra compactada de modo prescrito. Así el porcentaje de cavidades depende de la forma de las partículas, teniendo que entre más redondeada es la partícula menor es la proporción de cavidades.

Esféricidad

Es una función de la relación del área superficial de la partícula con respecto a su volumen.

Las partículas con una alta relación de esféricidad disminuyen la trabajabilidad de la mezcla y la durabilidad del concreto, por lo general son alargadas o laminadas.

Se consideran que no deben pasar de un 10 a un 15% del peso del agregado grueso.

Índice de laminación es el peso de las partículas laminadas presentado como un porcentaje del peso total de la muestra.

Índice de elongación es el peso de las partículas alargadas presentado como un porcentaje del peso total de la muestra.

Textura Superficial

Se refiere al grado de pulimentación u opacidad, suavidad o aspereza de la partícula de agregado y depende de la dureza, tamaño de grano y características de poro del material original, tanto como del grado en que ha sido suavizada por las fuerzas que actúan sobre sus caras.

Clasificación de la textura superficial de los agregados

Se considera que la forma y la textura de la superficie de los agregados ejerce gran

influencia en la resistencia del concreto, sobre todo en concretos de alta resistencia, viéndose más afectada la resistencia a la flexión que la resistencia a la compresión.

AGREGADOS ARTIFICIALES

Debido a la escasez de agregados naturales adecuados para la fabricación del concreto, se ha dado la producción de agregados artificiales hechos con productos de material de desecho.

Uno de estos materiales es la ceniza producto de la incineración de la basura doméstica, que contiene metales ferrosos y metales no ferrosos que al ser extraídos se muelen para formar un polvofino que se mezcla con materiales arcillosos hasta quedar en forma de grano que se cocina en un horno para dar como resultado un agregado artificial. Este material puede ser adecuado para fabricar concretos de baja resistencia.

Agregados y adherencia

Este fenómeno es el que se da cuando la pasta de cemento y los agregados se entrelazan en función de la aspereza de la superficie de los segundos, y este es un aspecto muy importante para la resistencia del concreto.

A pesar de que todavía no existen pruebas aceptadas en relación a esta propiedad y que la experiencia es el factor más importante en este tema, ya se están realizando estudios sobre otras propiedades físicas y químicas de los agregados que influyen en la adherencia, en función de su composición mineralógica y con las condiciones electrostáticas de la superficie de las partículas.

La resistencia del concreto debida a la adherencia aumenta con el tiempo. En el concreto de alta resistencia la resistencia por adherencia tenderá a ser menor que la resistencia a la tensión de la pasta de cemento presentándose fallas por adherencia.

Agregados y Resistencia

Existe una relación casi directa entre la resistencia a la compresión del concreto y la resistencia de los agregados que contiene, pudiendo decir que si la resistencia de los agregados no es la apropiada representará un elemento limitante en la resistencia del concreto elaborado aún y cuando el agregado tenga suficiente resistencia propia como para no fracturarse prematuramente.

La manera en que el agregado influye en la resistencia del concreto es probable que no sólo dependa de la resistencia mecánica de este sino que también influirán sus características de absorción y adherencia; La elasticidad y resistencia de los agregados dependen de su estructura, composición y textura. Así una baja resistencia podría ser producto de una debilidad en los granos o al hecho de que no estén bien unidos o cementados unos con otros.

El módulo de elasticidad del concreto aumenta en función del aumento del módulo de elasticidad de los agregados; el que también afecta la fluencia y la contracción del concreto.

Los esfuerzos ejercidos sobre las partículas de los agregados dentro del concreto son mayores que los esfuerzos ejercidos para determinar su resistencia fuera de la mezcla, de tal forma que las resistencias requeridas en los agregados son mayores que las consideradas como resistencias del concreto endurecido.

Como en todo deberá existir un equilibrio; por ejemplo cuando los agregados son compresibles los cambios volumétricos del concreto tienen como consecuencia un menor esfuerzo en la pasta de cemento, reduciendo esto la tensión en el concreto; por el contrario un agregado demasiado resistente y rígido puede causar agrietamiento de la pasta de cemento.

Prueba de valor de trituración, es la que determina las propiedades de trituración del agregado a granel. Valor de trituración y resistencia a la compresión son dos cosas distintas que no tienen relación explícita y que se explican como procesos para determinar la capacidad de resistencia que tienen los agregados.

Para agregados finos se utiliza la prueba de valor del 10% de agregados finos, en esta prueba un resultado numérico mayor indica mayor resistencia del agregado fino.

Independientemente de todas estas pruebas no existe una relación sencilla entre el límite superior de resistencia de un concreto fabricado con determinado agregado y los resultados de las mismas.

Propiedades mecánicas de los agregados

Tenacidad es la resistencia del agregado a fallar por impacto. Fue retirada como prueba ASTM en 1965.

Existe una **prueba de tenacidad** del agregado a granel de la que se obtiene el valor de impacto de dicho material el cual esta relacionado con el valor de trituración.

Dureza y resistencia al desgaste

El desgaste se determina por medio de la **prueba de abrasión Dorryen** la que se pone a desgaste un elemento cilíndrico contra arena de cuarzo.

Esta prueba es obsoleta en países como Inglaterra y Estados Unidos y se sustituyo por una prueba donde se colocan partículas de agregado de 10.2 y 14mm en una charola con un compuesto de fraguado y se someten a abrasión por medio de una pulidora a 500 revoluciones con suministro de arena *Leighton Buzzard*.

Prueba de desgaste Deval.

Se someten a desgaste partículas de agregado a granel de determinado peso total, en un cilindro de hierro que gira 10000 veces a 30-33 revoluciones por minuto.

Prueba de Los Ángeles. Combina el desgaste por frotación con abrasión.

En esta prueba se obtiene buenos resultados de correlación con el desgaste del agregado en el concreto además de con las resistencias a compresión y a flexión del concreto hecho con estos agregados. La prueba se realiza en un tambor cilíndrico con un entrepaño y bolas de acero.

Actualmente se realizan algunos estudios para evaluar el comportamiento del agregado fino sujeto a desgaste en un mezclado prolongado, puesto que la prueba de Los Ángeles no es útil para esto.

Es conveniente decir que las pruebas mencionadas nos dan una buena idea de la calidad de los agregados, pero todavía no es posible determinar a partir de la calidad de los agregados, el desarrollo de la resistencia potencial del concreto que se fabrica con ellos ni la traducción de las propiedades físicas de los agregados en las propiedades del concreto.

Agregados y densidad

Densidad absoluta es aquella que involucra al volumen del material sólido sin considerar los poros, y se define como la relación de la masa del volumen del sólido con la de un volumen igual de agua destilada y libre de gases a determinada temperatura ambos.

Densidad aparente es la que considera que el volumen del sólido incluye los poros impermeables, pero no los capilares, y es la relación de la masa del agregado secado al horno 100-110 grados centígrados por 24 horas, con la de la masa del agua que ocupa un volumen igual al del sólido que incluye los poros impermeables.

Para el concreto los cálculos se realizan con condiciones de superficialmente seco y saturado de los agregados lo cual nos proporciona una densidad bruta aparente que es la que se requiere para calcular el

rendimiento del concreto o la cantidad de agregado que se requiere para producir volúmenes de concreto. El valor de la densidad del agregado no está relacionado con la calidad del material.

Agregados y Peso volumétrico

Cuando se necesita manejar el agregado por volumen, se utiliza el peso volumétrico que es el peso del agregado que llena un recipiente de volumen unitario, es la conversión de cantidades en peso en cantidades en volumen. El peso volumétrico del agregado tiene significado cuando se utilizan agregados pesados y agregados ligeros.

Agregados, porosidad y absorción

La **porosidad** del agregado contribuye a la porosidad general del concreto.

La **porosidad y absorción** así como la impermeabilidad de los agregados están fuertemente involucrados con la resistencia a la congelación y al deshielo, la adherencia entre el agregado y el cemento, la estabilidad química y la resistencia a la abrasión del concreto.

El agregado estará saturado y superficialmente seco cuando todos sus poros estén llenos.

Al hablar de absorción de agua de los agregados podemos decir que con el tiempo puede producir pérdida de trabajabilidad y después de 15 minutos dicha pérdida ya no tiene importancia.

Agregados y contenido de humedad

El contenido de humedad del agregado es el agua que sobra para que se encuentre en estado de saturado y superficialmente seco.

La suma del contenido de humedad y la absorción es el contenido total de agua de un agregado húmedo. Existen diferentes métodos

para determinarlo entre los que se encuentran el secado en charola, utilizando un picnómetro, prueba del sifón, empleando una romana para medir humedad, prueba del medidor de flotación, quemando el agregado con alcohol metílico y el método con utilización de dispositivos eléctricos, entre otros.

El agregado grueso tiene menos agua que la arena y un contenido de humedad menos variable.

Arena y abundamiento

Consiste en el aumento de volumen debido a la presión de la película de agua que separa las partículas de arena, lo que provoca una reducción del peso de la arena. Cuando sucede este fenómeno, la mezcla no tiene la cantidad necesaria de arena y su apariencia es pedregosa, y el concreto tiende a la formación de cavidades y a la segregación. El grado de abundamiento está en función de la finura y del porcentaje de humedad de la arena.

El agregado y sustancias que perjudican

Impurezas(orgánicas). Los agregados naturales no pueden dar buenos resultados para producir concreto si contienen impurezas orgánicas que interfieran con las reacciones químicas de hidratación. Estos son productos de la descomposición de materia vegetal. No todas las materias orgánicas perjudican el proceso de hidratación del cemento y se tiene que verificar con la prueba colorimétrica para poder determinar si se requiere otra prueba ulterior. En algunos casos el efecto de las impurezas orgánicas es sólo temporal según una investigación hecha con un concreto elaborado con arena que contenía materia orgánica.

Arcilla y otros materiales finos(limo y polvos de trituración)

Son recubrimientos que impiden el desarrollo de una adecuada adherencia entre la pasta de

cemento y los agregados. Esto es de gran importancia ya que la resistencia y la durabilidad del concreto se ven directamente afectadas en estos casos, por lo que se hace necesario su control estricto en los agregados.

Contaminación salina

Para su utilización en la elaboración de concreto es necesario procesar las arenas que contienen sal (de playa o de estuario). Un proceso es lavar la arena con agua dulce.

Cuando la arena contiene sal se propicia la absorción de la humedad del aire y se causa el fenómeno de eflorescencia en el concreto(aparición de depósitos blancos en la superficie del material), además de propiciar una pequeña corrosión en el acero no de mucha importancia.

Partículas inestables

Los esquistos se consideran inestables, así como los terrones de arcilla, el carbón y la madera, La presencia de dichas partículas puede afectar la resistencia del concreto y no se permiten en concretos que se exponen a la abrasión.

El carbón puede causar fracturas en el concreto por expansión y puede afectar el proceso de endurecimiento de la pasta de cemento.

Las micas(presentes en la arena arcillosa para porcelana) afectan negativamente la resistencia del concreto.

Otras inclusiones expansivas en el agregado son las piritas de hierro y las marcasitas.

Agregados y consistencia

La capacidad del agregado para resistir los cambios en volumen debidos a los cambios en las condiciones físicas causadas por la congelación y el deshielo, los cambios térmicos

y los estados mojado y seco alternados, se conoce como consistencia. Cuando no es la requerida produce deterioro en el concreto.

Reacción alcali-agregado

Son reacciones químicas perjudiciales entre la pasta de cemento alrededor de los agregados y estos mismos.

Hay ciertos tipos de agregados que tienden a ser reactivos pero no existe un proceso sencillo para saber cuáles pueden causar una expansión excesiva.

Podemos encontrar otra reacción perjudicial del agregado y los álcalis del cemento la que se conoce como reacción álcali-carbonato, generalmente en condiciones específicas de humedad produce una expansión en el cemento, lo que propicia pérdida de adherencia.

El agregado y sus propiedades térmicas.

Se ha observado que si los coeficientes térmicos del cemento y del agregado grueso son muy diferentes la adherencia puede verse afectada, debido a movimientos diferenciales provocados por un cambio de temperatura. Esto es importante cuando se espera que el concreto pudiera trabajar bajo temperaturas extremas.

AGUA

La relación agua cemento es muy importante por lo que el agua utilizada deberá estar libre de ácidos, álcalis y grasa(limo, sales y otras impurezas) a menos que se especifique lo contrario, en todas las especificaciones se pedirá que el agua sea potable.

Se considera como efectiva el agua que ocupa los espacios fuera de las partículas del agregado en el momento del fraguado.

El agua del concreto consiste en la que se añade a la mezcla y la que retienen los agregados al entrar en el proceso de mezclado.

Se habla de agua total en la mezcla a la requerida cuando los agregados están secos.

El agua y el proceso de Hidratación

Muchas de las propiedades mecánicas del cemento y del concreto endurecidos dependen de la estructura física de los productos de hidratación, a un nivel coloidal.

La pasta de cemento fresco es una red de partículas de cemento en agua y una vez que ha fraguado su volumen aparente permanece constante.

En cualquier etapa de hidratación la pasta endurecida consta de hidratos de varios compuestos que en su conjunto son llamados gel de cristales de hidróxido de calcio.

Debido a que los productos de hidratación son coloidales el área superficial de la fase sólida aumenta enormemente durante la hidratación y gran cantidad de agua libre es absorbida en esta superficie. Se debe permitir el flujo de agua hacia la pasta de cemento o desde ella para evitar la autodesecación producto de la falta de agua para saturar la superficie sólida, la autodesecación produce una hidratación menor en relación a una pasta curada en humedad. El espacio total disponible para los productos de hidratación esta constituido por el volumen absoluto del cemento seco junto al volumen de agua que se añade a la mezcla. En cualquier estado de hidratación los poros capilares representan la parte del volumen bruto que no ha sido llenado por los productos de hidratación, el mismo que se reduce conforme avanza la hidratación, la porosidad capilar de la pasta depende tanto de la relación agua/cemento de la mezcla como del grado de hidratación.

En una mezcla sellada una hidratación completa se dará si la relación agua/cemento en peso de .5, y para una pasta curada bajo la acción del agua se requerirá una relación agua/cemento de 0.7 por peso.

La ausencia de capilares continuos se debe a una adecuada combinación de la relación agua/cemento y a un periodo suficientemente largo de curado por humedad.

El eliminar la capilaridad continua es de tal importancia que se considera un requisito para que un concreto se pueda clasificar como bueno.

Los enlaces físicos(fuerzas de Van der Waals) y químicos en el gel de cemento contribuyen a la resistencia de la pasta endurecida.

El agua en el cemento hidratado queda retenida con distintos grados de firmeza, por un lado hay agua libre y por el otro agua químicamente combinada que forma una parte definida del compuesto hidratado y entre estos dos hay agua retenida en gran variedad de formas.

Se llama agua absorbida a la retenida mediante las fuerzas superficiales de las partículas de gel y agua zeolítica a la que se mantiene entre la superficie de ciertos planos en un cristal.

TECNOLOGÍA AVANZADA DEL CONCRETO

CAPITULO II ADITIVOS

Existen elementos que se utilizan algunas veces en mezclas de concreto para una serie de propósitos específicos, a estos elementos se les llama *aditivos para concreto*. Muy frecuentemente en lugar de utilizar cementos especiales se pueden modificar algunas de las propiedades del cemento que se tiene, con el uso de un aditivo o adiciones. Siempre es conveniente verificar los efectos finales reales del uso de estos compuestos.

Se ha dado una clasificación en base a la norma ASTM C 494-79 en la que se clasifican de acuerdo a la finalidad de su uso.

Podemos encontrar aditivos acelerantes (desarrollo de resistencia), retardantes (fraguado del concreto), reductores de agua, superfluidificantes, inclusores de aire, excluidores de aire, fungicidas, repelentes al agua y Algunos de estos últimos no están suficientemente estandarizados y otros se han desarrollado como producto de nuevas tecnologías para mejorar la trabajabilidad, la adherencia, para efectos arquitectónicos como colorantes, para inhibir la corrosión, formar gas, ayudar al bombeo e impermeabilizar al concreto.

Los aditivos se emplean para reducir el costo de las construcciones con concreto, obtener propiedades en el concreto de forma más rápida y efectiva, para asegurar la calidad del concreto en los procesos de mezclado, transporte, colocación y curado en condiciones ambientales adversas, y para superar

situaciones problemáticas en las operaciones de colado.

Acelerantes (Cloruro de calcio)

Se utiliza cuando es necesario colocar concreto a bajas temperaturas (2 a 4 grados centígrados) o en trabajos urgentes de reparación.

Al agregar cloruro de calcio a la mezcla se incrementa el desarrollo de resistencia, esto se logra por medio de la liberación de calor durante las primeras horas después de que se ha elaborado la mezcla. Se puede agregar al cemento Portland normal y al cemento Portland de fraguado rápido y no deberá utilizarse en cemento de alta alúmina.

Es importante tener especial cuidado en la cantidad de cloruro de calcio que se añadirá a la mezcla (generalmente del 1 al 2% del peso del cemento), hay que considerar que los efectos de este aditivo dependen de la composición del cemento al que se le agrega, un exceso de aditivo puede causar un fraguado relámpago.

El aditivo se disuelve en agua de mezclado antes de ser colocado en la mezcladora.

Aumenta la resistencia del concreto a la abrasión y erosión, pero afecta de manera negativa en la resistencia del concreto con aire incluido a la congelación y al deshielo, con el uso de este aditivo se reduce la durabilidad del concreto ante agentes externos.

El cloruro de calcio no debe ser utilizado en concreto que se encuentre en contacto con acero de refuerzo pues se corre el riesgo de que presente corrosión del refuerzo, este riesgo puede evitarse si se utilizan cementos de fraguado rápido o con composiciones libres de cloruros.

También se utilizan formiato de calcio mezclado con agentes anticorrosivos o nitrito de calcio como agentes acelerantes en lugar de cloruro de calcio o de sodio.

Retardantes

Son utilizados para retardar el fraguado de la pasta de cemento, haciendo más lento el endurecimiento de la pasta y no alteran la composición de los productos de hidratación.

Son útiles para el concreto en climas calientes, en donde el tiempo normal de fraguado se acorta debido a la alta temperatura exterior. Este proceso puede aprovecharse para obtener acabados en el concreto de agregado expuesto.

Algunas sustancias retardantes pueden encontrarse en el azúcar, en las sales de zinc solubles, en los derivados de carbohidratos y en los boratos solubles principalmente.

Algo muy importante es el cuidado de las cantidades a utilizarse ya que si son incorrectas pueden evitar el fraguado y el endurecimiento del concreto.

Reductores de agua

Tenemos aditivos solamente reductores de agua, reductores de agua y retardantes del fraguado, y reductores de agua y acelerantes.

En los aditivos de reducción de agua y retardantes del fraguado tenemos los ácidos

lignosulfónicos y sus sales y los ácidos carboxílicos hidroxilados y sus sales.

Resultan efectivos en todo tipo de cementos Portland y en cementos de alta alúmina y su efecto en la resistencia varía en función de la composición del cemento

El uso de estos aditivos provoca un incremento en la resistencia del concreto debida a un efecto de dispersión en las partículas de cemento.

La reducción en la cantidad de agua de mezclado varía entre el 5 y el 15% y esto depende del contenido de cemento, del tipo de agregado, de la presencia de agentes inclusores de agua y de las puzolanas. Al utilizar aditivos reductores se corre el peligro de segregación en el concreto.

La cantidad a utilizarse es aproximadamente un 1% del peso del cemento en la mezcla.

Reductores de agua de alto rango Superfluidificantes/Superplastificantes

Aumentan la trabajabilidad del concreto, con un aumento en el revenimiento de 75 mm a 200mm sin alterar la cohesión de la mezcla. El concreto con aditivo puede colocarse con poca o nula compactación y no sufre de sangrado excesivo.

Se puede utilizar en secciones muy reforzadas con pocas áreas accesibles, en pisos o losas de carreteras y en general donde es necesaria una rápida colocación del concreto.

Los superfluidificantes se usan para producir concreto con trabajabilidad normal pero con una altísima resistencia a los 28 días sin alterar la resistencia a largo plazo. Pueden ser utilizados en grandes dosis y por lo general no afectan el fraguado del concreto, la durabilidad, la resistencia a la congelación y al deshielo, ni influyen en la contracción; se recomienda agregarse a la mezcla en el momento antes de la colocación del material

entre el mezclado común y un mezclado adicional.

Los aditivos superfluidificantes son condensados de formaldehído sulfonado de melamina y de formaldehído sulfonado de naftalina.

Una de sus características es aumentar la trabajabilidad del concreto manteniendo la cohesión de la mezcla, este concreto no se compacta y no segrega o sangra excesivamente(Concreto fluido). Otro de sus usos es para obtener concreto de trabajabilidad normal, pero con una alta resistencia, provocada por la reducción en la relación agua cemento hasta 0.28.

Los superfluidificantes pueden utilizarse en concreto sustituyendo parcialmente el cemento por ceniza volante para obtener una resistencia adecuada a edades tardías.

La acción de los superfluidificantes en la mezcla es de alrededor de 10 minutos y la trabajabilidad es normal después de 30 a 90 minutos. Pueden ser utilizados en grandes dosis y se recomienda agregarlos a la mezcla justo antes de la colocación con un periodo corto de remezclado(2 minutos). No afectan el fraguado del concreto, la contracción, la fluencia, los módulos de elasticidad, la resistencia a la congelación al deshielo ni en la resistencia a los sulfatos. Su único inconveniente es que son relativamente caros.

Inclusores de aire

Son utilizados para retener burbujas de aire microscópicas en el concreto. Esto propiciará una mejoría en la durabilidad de los concretos que se encuentren expuestos a la humedad en ciclos de congelación y deshielo. El aire incluido beneficia a la resistencia contra el descascaramiento de la superficie debido a las sustancias químicas deshelantes. Mejoran la trabajabilidad y evitan el sangrado y la segregación,

El proceso se puede realizar con un cemento inclusor de aire o con un aditivo inclusor de aire o con ambos procesos combinados.

Aditivos minerales

Son materiales pulverizados que se adicionan al concreto antes del mezclado o durante este proceso para mejorar o transformar sus propiedades.

Aditivos minerales cementantes

Estos materiales fraguan y endurecen en presencia de agua por sí solos. Podemos mencionar algunos como son las escorias granuladas de altos hornos molidas, cemento natural, y cal hidráulica hidratada.

Aditivos minerales puzolánicos

La puzolana no posee ningún valor cementante pero al combinarse con el cemento y en presencia de agua reacciona químicamente para la formación de compuestos cementantes. Las tobas volcánicas, tierras diatomáceas, los horstenos opalinos, la piedra pómez, las pizarras y las arcillas son materiales puzolánicos. También están incluidos el humo de sílice y la ceniza volante.

La **ceniza volante** es un residuo finamente dividido, resultado de la combustión mineral pulverizado en las plantas que generan electricidad.

El **humo de sílice**(microsílice ó humo de sílice condensado) es un polvo grisáceo que resulta de la reducción de cuarzo muy puro con carbón mineral en un horno durante la fabricación del silicio o de aleaciones de ferrosilicio.

Algunas escorias de alto horno, así como algunas cenizas volantes tienen propiedades tanto puzolánicas como cementantes.

El utilizar ceniza volante y escoria granulada de alto horno en el concreto de cemento portland es un gran factor para la conservación de la energía y del ahorro en el costo del concreto.

Aditivos de materiales minerales inertes

Se utilizan adicionados al cemento y como sustitutos de arena en el concreto para mejorar la trabajabilidad de la mezcla. El cuarzo en

bruto, algunas calizas, el mármol, el granito y las dolomitas, son materiales inertes utilizados como aditivos.

Aditivos colorantes

El concreto se colorea por razones estéticas y de seguridad, utilizando materiales naturales y sintéticos.

Se recomienda que el peso de los pigmentos no exceda al 10% del peso del cemento. La mayor parte del negro de humo que se utilizan como colorantes del concreto se adicionan con un aditivo para evitar efectos de reducción del contenido de aire.

Aditivos inhibidores de la corrosión

Sabemos que el acero de refuerzo está protegido por el concreto contra la corrosión pero cuando se presenta carbonatación o presencia de iones cloruro (producto de los productos descongelantes o del agua de mar) se corre riesgo de corrosión en el acero de refuerzo.

Los aditivos inhibidores de la corrosión detienen químicamente la reacción producto de la corrosión. El nitrito de calcio es el inhibidor más utilizado.

Aditivos para ayudar el bombeo

Estos aditivos no son capaces de resolver el problema en todos los casos pero sí cuando algún concreto es parcialmente bombeable. Algunas ayudas de bombeo pueden retardar el tiempo de fraguado y reducir la resistencia a la compresión. Para evitar estos efectos se utilizan con algunos otros aditivos o se corrigen las proporciones de la mezcla.

Entre estos se encuentran polímeros orgánicos, floculantes orgánicos, y emulsiones orgánicas de parafina, alquitrán, asfalto y acrílicos, entre otros.

Aditivos químicos para reducir la reactividad con los álcalis

Las sales de litio y de bario son productos químicos que ha sido utilizados para reducir la expansión álcali-agregado, pero el uso de

puzolanas con propiedades para reducir la expansión es más práctico.

Agentes productores de gas

Para producir una expansión pequeña en el concreto antes del endurecimiento se utilizan polvo de aluminio y materiales productores de gas, con el propósito de asegurar el relleno total de un área confinada (bases de máquinas o ductos de postensado en concretos presforzados). Estos aditivos no compensan la contracción después del endurecimiento debida a la carbonatación o provocada por secado.

Aditivos insecticidas, germicidas e insecticidas

Utilizando materiales como las emulsiones de dieldrin, los compuestos de cobre o los fenoles polihalogenados, se puede tener un control (parcial) del crecimiento de bacterias y hongos en los concretos endurecidos. Sus efectos son temporales y si se exagera la cantidad utilizada pueden reducir la resistencia a la compresión.

Aditivos y agentes para unir

Son aditivos que se agregan a las mezclas de cemento portland para aumentar la adherencia entre un concreto nuevo y uno viejo. Están formados por emulsiones de agua de materiales orgánicos como el hule, el cloruro de polivinilo, los acrílicos, los acetatos de polivinilo y los copolímeros de butadieno estireno.

Incrementan además la resistencia a la flexión y la resistencia a la corrosión por iones cloruro. Se agregan en cantidades del 5 al 20% en peso de cemento.

Los agentes para unir se aplican en la superficie del concreto a diferencia de los aditivos que se adicionan a la mezcla. Los agentes para unir se aplican sobre las superficies para ayudar a pegar los nuevos materiales con los que ya existen y son utilizados en trabajos de restauración y de reparación. Pueden ser productos epóxicos o morteros con látex.

Lechadas y aditivos

Para aplicaciones muy particulares se utilizan lechadas de cemento portland con aditivos para mejorar sus propiedades y modificarlas para que tengan las especificaciones requeridas. Las podemos utilizar en el montaje de bases para máquinas, para el relleno de grietas y juntas en obras de concreto, para estabilizar cimentaciones, para cementar pozos petrolíferos, para rellenar núcleos de muros de mampostería, y para la inyección en tendones de presfuerzo y pernos de anclaje.

Qué es el Curado

El incremento de la resistencia del **concreto** depende de la continuidad de las reacciones químicas que intervienen en su proceso de formación para las cuales se hace necesaria la presencia de humedad y temperaturas favorables, por lo que el **Curado del Concreto**

se refiere precisamente al mantenimiento de un ambiente favorable para la continuación de esas reacciones químicas, esto es, la retención de humedad interior, o bien, suministrando humedad al concreto a la vez de protegerlo contra temperaturas extremosas.

El curado a edades tempranas es muy importante, pues es la etapa en que se constituye la estructura interna del *concreto* la cual le permite adquirir resistencia e impermeabilidad.

Mezclas ricas en cemento son capaces de generar calor de hidratación tal que puede expulsar la humedad del concreto en el periodo inmediato después del fraguado y en este tipo de *concreto* el curado de agua debe comenzar tan pronto como sea posible para equilibrar la pérdida de humedad y ayudar a disipar el calor. Para mezclas con moderados o bajos contenidos de cemento la retención de la humedad interna del *concreto* es suficiente.

CAPITULO III

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

Diseñar una mezcla de concreto es un proceso que consiste en encontrar la combinación más práctica y económica de los materiales con los que contamos, para fabricar un concreto que cumpla con las características y comportamiento requeridos en una necesidad particular.

Este proceso también es conocido como Proporcionamiento de mezclas.

Una mezcla de concreto bien diseñada nos proporciona una trabajabilidad aceptable (concreto fresco), uniformidad, durabilidad y resistencia en el concreto endurecido, además de permitirnos obtener los mejores resultados al menor costo (economía).

Es importante saber que el proporcionamiento de una mezcla estará en función de las características del uso que se le dará al concreto por fabricarse.

Un factor muy importante en este proceso es la relación *agua-cemento* y la sencillez en la selección de los ingredientes, puesto que entre más ingredientes en la mezcla mayor la dificultad para controlarla.

En el concreto la relación *agua-cemento* es inversamente proporcional a la resistencia del material a la compresión, además de que influye también en otras propiedades del material, y esto es por lo que los tecnólogos del concreto están muy en favor del uso de esta relación.

La relación *agua-cemento* es el peso del agua dividido entre el peso del cemento y para el diseño de la mezcla deberá elegirse el menor valor que se requiere para satisfacer las consideraciones de exposición de diseño.

La influencia de la relación *agua-cemento*, propiedades de los agregados, contenido de agua, cemento y aditivos, en la mezcla y en el concreto endurecido se trató en el capítulo I de este trabajo.

Revenimiento

Hablando específicamente de mezclas de *concreto*, el revenimiento es un concepto que tiene que ver con la *fluidez*, la *consistencia* y la *trabajabilidad* de la misma, y se entiende como la medida del asentamiento que sufre la masa al retirarse de un molde previamente determinado como molde para pruebas de revenimiento.

Se entiende por *trabajabilidad* a la medida de lo fácil o difícil que resulta colocar, consolidar y darle acabado al concreto; Por *consistencia* a la capacidad del concreto fresco para fluir; Y por *Plasticidad* a la facilidad para moldear el concreto.

La *prueba de revenimiento* puede ser útil como un indicador de la *consistencia* y en ciertas mezclas de la *trabajabilidad* del concreto, pero no es una medida absoluta de la *consistencia* o de la *trabajabilidad* ya que no distingue entre mezclas de características distintas y esto es aún más cierto en el caso de la *trabajabilidad*.

Ahora bien, cuando los agregados y el contenido de cemento permanecen invariables, la prueba de *revenimiento* es una buena medida de cualquier cambio en la *consistencia*. Cuando los materiales son medidos con precisión una variación en el *revenimiento* puede ser causada por cambios en la granulometría de los agregados, o por alguna alteración en el contenido de agua o en el contenido de aire y la prueba de *revenimiento* en estas condiciones puede ser una buena base para el control.

En cuanto a la *trabajabilidad* tenemos que cuando las mezclas se han especificado como realmente trabajables para una estructura dada, las variaciones del revenimiento pueden ser consideradas como una indicación de un cambio correspondiente en la *trabajabilidad*.

La prueba de revenimiento se realiza de la siguiente manera:

Un molde de forma tronco cónica, de 30 cms de altura, 20 cms de diámetro en la base y 10 cms en el diámetro de la parte superior, se llena mediante tres capas de concreto fresco varillado 25 veces en cada una de dichas capas con una varilla de 16 mms de diámetro, con la punta terminada en forma de bala. Una vez lleno el molde, se enrasa el borde superior y se levanta. La masa sufrirá un asentamiento el cual será medido al retirarse el molde. Un revenimiento pequeño indica una consistencia dura, mientras que uno grande revela una consistencia húmeda ó muy húmeda.

El revenimiento es una medida más fiel de la consistencia y de la trabajabilidad del *concreto* con aire incluido, dada la mayor plasticidad y cohesión de éste. (ver *concreto fresco* inciso D).

En el campo un revenimiento demasiado alto o bajo es una advertencia que permite al operador de la mezcladora remediar una situación problemática.

El aire incluido se utiliza en el concreto que está expuesto a deshielo y congelación, así como a productos químicos descongelantes.

En el diseño de mezclas los cambios en la cantidad de cualesquiera de los ingredientes de la mezcla puede alterar sus propiedades y provocar efectos en las proporciones de los otros ingredientes.

El contenido de agua para diseño de mezclas se obtiene de tablas ya definidas. El contenido de cemento se define en función de la relación agua-cemento y del contenido de agua seleccionados, considerando que existe un contenido mínimo de cemento por especificación.

Por cuestiones de economía el proporcionamiento se basará en un consumo mínimo necesario de cemento requerido sin que se altere la calidad del concreto.

Para optimizar los recursos como el agua en el diseño de mezclas se puede considerar la

utilización de aditivos reductores de agua. Los aditivos reductores de agua disminuyen la relación agua-cemento (reducen el contenido de agua entre un 5% y un 10%) o mejoran la trabajabilidad sin alterar la relación agua-cemento, además de aumentar el contenido de aire de 1/2 a un punto porcentual.

Lo nuevo

Anteriormente el método de proporcionamiento de mezclas primordialmente utilizado era el famoso 1:2:3 (cemento:arena:agregado grueso), pero en la actualidad se utilizan los métodos de Peso y Volumen absoluto. Los primeros son sencillos y rápidos para poder calcular las proporciones de las mezclas, basándose en un peso que se supone o que se conoce por unidad de volumen; el método de volumen absoluto es de mayor exactitud y utiliza el uso de los valores de la densidad de todos los componentes involucrados para así poder calcular el volumen absoluto que cada uno ocupara en la unidad de volumen del concreto a fabricar. Para diseñar mezclas de concreto se pueden utilizar proporciones a partir de experiencias en el campo (estadísticas) o a partir de mezclas de prueba de concreto en las cuales los métodos más utilizados son: Asignación arbitraria (1:2:3) volumétrica; Relación de vacíos; Módulo de finura; Área superficial de agregados; Contenido de cemento. Al elaborarse la mezcla de prueba deberán realizarse las pruebas de contenido de aire, revenimiento y temperatura; además de calcularse el Peso volumétrico (kgs/m³), rendimiento (m³) y volumen absoluto (m³) el cual es el resultado de dividir el peso del material entre el peso específico del material.

Las muestras de prueba deberán utilizar los mismos materiales que se propondrán en la obra, se consideraran tres distintas relaciones agua-cemento correspondientes a 3 diferentes muestras para así poder obtener un rango de resistencias cercanas a f'cr. Las muestras pueden ser de laboratorio o de una producción normal de concreto.

Correcciones y ajustes

El método de volúmenes absolutos es el más exacto en el proporcionamiento de mezclas y nos referiremos a los ajustes y correcciones en este método.

Una vez que se establecen las condiciones y especificaciones del concreto a fabricar, se revisan y definen los demás aspectos involucrados como son: resistencia, relación agua-cemento, tamaño del agregado grueso, contenido de aire, revenimiento, contenido de agua, contenido de cemento, contenido de agregado grueso y contenido de agregado fino expresados en las unidades correspondientes, con esto la mezcla tendrá unas proporciones para un metro cúbico de concreto; en este punto se realizan correcciones por humedad en los agregados (contenido de agua), corrigiéndose los pesos estimados para una mezcla de concreto de un metro cúbico.

Ahora se revisarán los pesos calculados de las mezclas por medio de mezclas de prueba o mezclas de campo de tamaño normal.

En las mezclas de prueba de laboratorio por lo general se fabrican .063 metros cúbicos de concreto, lo que es lo mismo que 60 litros de concreto; si al realizar la mezcla el revenimiento no es aceptable o el rendimiento es alto o bajo o el contenido de aire también es alto o bajo; se ajusta el rendimiento y se recalcula la cantidad

de aditivo inclusor de aire, a la vez de ajustar la cantidad de agua para obtener un revenimiento adecuado; una vez ajustada el agua para mezclado se aumentará o disminuirá la cantidad de cemento para mantener la relación agua-cemento apropiada; si la trabajabilidad es satisfactoria la cantidad de agregado grueso permanece igual; se procede a revisar las nuevas proporciones por medio de otra mezcla de prueba y se comprueba si estas proporciones ya son las adecuadas para obtener un concreto con las características originalmente requeridas. En este proceso se permiten el uso de reductores de agua para mejorar la trabajabilidad o de puzolanas para mejorar la resistencia al ataque de los sulfatos y reducir la reactividad con los álcalis.

Si se requieren pequeñas cantidades de concreto menores a 1 metro cúbico se pueden utilizar tablas de proporcionamiento, las cuales son guías y pueden ser susceptibles de ajustes. El diseño o proporcionamiento de mezclas de concreto en la práctica dependerá en gran medida de la información disponible en relación a las propiedades de los materiales, la calidad del control durante el proceso de fabricación, la supervisión en la obra. Por otro lado los resultados de campo difieren de los resultados de las muestras de prueba de laboratorio, requiriéndose ajustes a la mezcla de prueba seleccionada.

Para concretos que requieran características o cualidades especiales se involucran otros diferentes principios de proporcionamiento lo cual se trata en el tema de concretos especiales.

CAPITULO IV

CONCRETOS ESPECIALES

Existen concretos que se producen por medio de procedimientos poco comunes y que tienen propiedades diferentes a las de los concretos normales; estos concretos son llamados concretos especiales. Se ha desarrollado debido a la necesidad de suplir ciertas deficiencias que se dan en concretos normales cuando son requeridos para situaciones también especiales como son: Construcción de edificios de grandes alturas, necesidad de bajos costos en la construcción, Posibilidad de colocación y compactación sin esfuerzo, posibilidades de retracción en el concreto y otras.

Se tienen muchos tipos de concretos hechos con cemento Portland y otros hechos con aglutinantes diferentes al cemento Portland. Ver tabla DCMC 195

El desarrollo de Concreto Especiales ha sido producto de los grandes avances en la tecnología del concreto.

Concretos de alto comportamiento

Estos concretos son aquellos que combinan las características de alta resistencia, alta trabajabilidad y gran durabilidad.

Sus propiedades, ventajas y aplicaciones serán las que se den para los concretos de alta resistencia y alta trabajabilidad que se describirán más adelante. La durabilidad es una propiedad que se analiza en el capítulo VII.

CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA

Se puede definir al concreto de alta resistencia como aquel que desarrolla una resistencia a la compresión mayor de 420 Kg/cm².

Para la fabricación de concreto de alta resistencia es necesario tener más cuidado en

la selección de los materiales así como de sus propiedades, además de considerar un control de calidad más estricto.

Las características principales de estos concretos (propiedades y estructura) son diferentes a las del concreto normal.

Para la producción de concretos de alta resistencia se requiere de la utilización de aditivos reductores de agua para contrarrestar los efectos negativos de la relación agua-cemento tanto en la resistencia como en la consistencia de la mezcla.

En general se tienen relaciones agua-cemento bajas, un tamaño pequeño del agregado (19mm máximo) y un contenido de cemento alto (385 kg/m³).

La producción de concretos de muy alta resistencia y consistencia es más fácil si se utilizan aditivos superfluidificantes o de alto rango.

Para reducir los costos y obtener un concreto más homogéneo se sustituye parte del cemento por puzolana.

Propiedades

Trabajabilidad

En sus inicios las mezclas para concreto de alta resistencia eran pegajosas y rígidas, con dificultad para ser colocadas y compactadas, pero con el uso de los superfluidificantes este problema se ha resuelto de manera satisfactoria.

Resistencia

Las mezclas de concreto de alta resistencia tienen una gran capacidad para desarrollar resistencia a gran velocidad sin necesidad de curado de vapor.

Homogeneidad

El concreto de alta resistencia comparado con el concreto normal se comporta de forma más homogénea y pueden ser cargados en una mayor relación de esfuerzo deformación sin iniciar la posibilidad de una falla por ruptura.

En estos concretos se presentan menos microgrietas que en un concreto normal, las cuales están relacionadas con la retracción, con la carga sostenida y con la carga a corto plazo.

Durabilidad

Los concretos de alta resistencia tienen una gran durabilidad en relación a los agentes que normalmente deterioran el concreto (ver durabilidad), y esto se debe a la baja permeabilidad que presentan.

Ventajas en su utilización

En la construcción actual de edificios de grandes alturas, la utilización del concreto con una alta resistencia y de acero al mínimo es una propuesta económica y rápida.

La utilización de concreto de alta resistencia permite el diseño de elementos que solucionan los problemas ocasionados por las dimensiones de los elementos cuando se elaboran con concreto normal. Las construcciones de edificios de gran altura se ven beneficiadas en rapidez ya que se puede comenzar a construir aún y cuando el diseño de la superestructura no este terminado completamente.

El factor rapidez en la construcción es de gran importancia en la actualidad ya que se pagan altas tasas de interés y si los edificios se terminan pronto de la misma forma serán ocupados y comenzaran a recibir la compensación económica para la recuperación de capital.

El uso de marcos de concreto reforzado sobre el de los marcos de acero se ha incrementado grandemente en nuestra época ya que como se ha mencionado se pueden optimizar los costos y los tiempos.

La utilización de concretos de alta resistencia ha favorecido a las empresas de concreto presforzado y precolado, pues se pueden reutilizar las cimbras más rápidamente y se puede tener una mayor productividad. En estas plantas se trabaja con mezclas ricas y sin revenimiento o de poco revenimiento con un cuidadoso control para obtener los mejores resultados.

Los concretos de alta resistencia son útiles en donde se tienen problemas de ataques de sustancias químicas, erosión ó abrasión.

Aplicaciones

Desde el punto de vista arquitectónico el concreto de alta resistencia se ha hecho muy popular a partir de 1972, ya que permite desarrollar diseños de edificios de alturas de más de 30 niveles con columnas de dimensiones mínimas que son estéticamente adecuadas a las intensiones del proyecto. Sus aplicaciones se han dado a gran escala en Estados Unidos y Canadá.

En algunos proyectos se ha utilizado microsilica condensada en concretos de alta resistencia para desarrollar menos calor de hidratación.

Ejemplos de estas aplicaciones son el Water Tower Place en Chicago Illinois, El Texas Commerce Tower en Houston Texas, el Tjörn Bridge en Suecia, el edificio Nova Scotia en Toronto y el Two Union Square Building en Seattle entre otros.

Concreto de alta trabajabilidad

Es el concreto que se ha diseñado para tener una consistencia fluida, que se coloca y se compacta con poco o sin ningún esfuerzo y que a su vez tiene suficiente cohesión para manejarse sin segregación y sin sangrado (ver capítulo 2).

Se piensa por parte de los Arquitectos y Los constructores que la era de los superfluidificantes en la construcción ha iniciado, ayudando con esto a la creación de

estructuras con diseños complejos y aplicaciones de gran exigencia.

Sus ventajas son que la colocación sin esfuerzo del concreto evita la complicación en el cimbrado, permite colocar el concreto rápidamente con facilidad y sin vibración, facilita el bombeo del concreto y permite mayor rapidez y la fabricación de superficies compactas y de gran uniformidad.

Estos concretos se ha utilizado en Singapur en una losa de cimentación monolítica con 11,000 metros cúbicos de concreto de 350 kg/cm² que soporta el edificio Raffles City Building; en la construcción de la Trump Tower en Nueva York.

Otros concretos especiales**Concreto con agregado precolado**

Su producción se realiza colocando el agregado grueso en una cimbra, después de lo cual se inyecta un mortero cemento-arena que generalmente contiene aditivos, para rellenar los vacíos.

Han sido utilizados en edificios para obtener efectos arquitectónicos como los de material expuesto que se obtienen limpiando la superficie con chorro de arena, labrándola o tratándola con retardante para después cepillarla con cerdas de alambre. También se han utilizado en trabajos de restauración, construcción de blindajes para reactores, estribos de puentes y estructuras bajo agua.

Concreto sin revenimiento

Son aquellos que tienen una consistencia correspondiente a un revenimiento de 0.5 cms ó menor.

Para incrementar su durabilidad es recomendable la inclusión de aire. Muchas de las leyes que regulan las propiedades de los concretos con mayores revenimientos se pueden aplicar a estos concretos. Los concretos sin revenimiento se utilizan para la fabricación de otros concretos, tales como, el concreto compactado con rodillos.

Concreto Lanzado

Consiste en un mortero o en un concreto que se lanza neumáticamente sobre una superficie a gran velocidad. La consolidación se da por la fuerza del impacto debido a la mezcla relativamente seca. Puede ser colocado en superficies de diferente inclinación sin problemas de desprendimiento.

Es utilizado en obras de reparación, en construcciones nuevas y en estructuras delgadas o de forma curva.

Se produce mediante proceso seco o proceso húmedo.

Suelo-cemento

Esta formado por cemento, agua, material granular ó suelo pulverizado. Para obtener una alta densidad la mezcla se compacta, y conforme se realiza el proceso de hidratación el concreto se torna duro y durable.

Para su fabricación se pueden utilizar suelos con combinaciones de arcilla, gravas, lomo, arena, materiales granulares locales y materiales de desecho.

Se utiliza principalmente como capa de base para caminos, aeropuertos, calles y estacionamientos, y como sub-base en pavimentos de concreto, en revestimientos de presas y para estabilizar cimentaciones.

Concreto Reforzado con fibra

Están constituidos por cemento hidráulico, agua, agregados finos o agregados finos y gruesos y fibras discretas discontinuas. En algunos casos contiene puzolanas y aditivos que se utilizan en el concreto tradicional. Se utilizan fibras de materiales naturales (celulosa), plástico, vidrio y de acero, que es la más utilizada, todas en diferentes tamaños y formas (Planas, cilíndricas, estriadas y rizadas), añadidas durante el mezclado.

Al aplicarse un esfuerzo sobre el concreto este sufre una propagación de microgrietas las cuales influyen negativamente en su resistencia a la tensión. Los estudios han revelado que los concretos reforzados con fibras mejoran en su comportamiento post-agrietamiento del material, aún y cuando la resistencia última a tensión no se incrementa, si se incrementa la deformación unitaria a la tensión de ruptura. De esta forma el concreto reforzado con fibras es más tenaz y más resistente al impacto lo que implica menor fragilidad.

Cuando se utilizan fibras en el concreto se reduce su trabajabilidad en forma proporcional al volumen de las fibras agregado, pero la compactación y la colocación no son tan complicadas con estos materiales.

Estos concretos se utilizan en los pavimentos para pistas de aviación.

Así su beneficio es a la tenacidad a la flexión del concreto más que a la resistencia a la compresión; la resistencia a la fatiga y al impacto sufren un incremento debido a la tenacidad a la flexión.

Se han utilizado positivamente en elementos de concreto precolado, fibras de bajo módulo, como son el nylon y el polipropileno.

Cuando el concreto se encuentra adecuadamente compactado y curado tiene gran durabilidad, e inclusive es resistente a las sales deshielantes y las fibras son poco corroides si están protegidas por la pasta de cemento.

Se han aplicado en todo el mundo y algunos ejemplos son los tableros desmontables elaborados para el Aeropuerto Heathrow de Londres, la capa de concreto reforzado con fibras en el pavimento con asfalto del Aeropuerto Internacional de Mc Carran en Las Vegas Nevada, Estados Unidos, Áreas con pendiente rocosa que se estabilizaron en una refinería de Suecia y otra en Washington, en la obra del Snake River.

La producción de este concreto es de alto costo debido a las fibras, pero la diferencia con otros concretos no es tan grande.

Concreto de peso ligero

Realmente es un concreto estructural que debido a causas de reducción de costos se elabora con agregados celulares ligeros. Su peso es aproximadamente el 66% del peso de un concreto normal. Por especificaciones se ha limitado su peso unitario máximo permisible y la compresión mínima a los 28 días. Las propiedades del concreto de peso ligero son esencialmente las mismas que las del concreto de peso normal, aunque presentan baja permeabilidad y ausencia general de microgrietas.

Las ventajas del concreto ligero son que abaratan la obra debido a que las cimentaciones en los edificios recibirán menor peso además de que las estructuras costarán menos debido al peso reducido.

Un ejemplo es la plataforma para el puente de la Bahía de San Francisco-Oakland hecha de este material con un ahorro de tres millones de dólares en acero, en 1936.

Infinidad de plataformas de concreto de peso ligero se han producido en el mundo debido a esta característica; también se utiliza para reducir los pesos por carga muerta en las losas de entrepiso en los edificios de gran altura, como en la Torre Lake Point en Chicago, Illinois.

La importancia en el ahorro económico brindado por estos materiales esta básicamente enfocada en el acero de refuerzo y más puntualmente en el concreto presforzado.

Concreto de retracción compensada

Es un concreto fabricado con cemento expansivo cuya importancia radica en que cuando esta restringido por el refuerzo se expande en la misma cantidad que la retracción por secado que se espera. Con esto se evitan esfuerzos grandes de tensión y el riesgo de agrietamiento debido a la retracción por secado.

Las grietas en el concreto reducen la durabilidad de materiales expuestos a aguas agresivas y esta es una forma de resolver el problema.

Las mezclas de este material son rígidas y altamente cohesivas, por lo que se permite el uso en el diseño de la mezcla de una relación agua-cemento mayor para mejorar la trabajabilidad y tener buena consistencia.

Cuando el clima es muy cálido se pierde revenimiento y se acelera el fraguado en estas mezclas por lo que se necesita enfriarlas a una temperatura adecuada.

Las resistencias a la flexión, tensión y compresión en el concreto de retracción son afectados por los mismos factores que el concreto de cemento portland(ver capítulo 1). Debido a la falta de sangrado y poco agrietamiento el concreto presenta una masa más densa e impermeable que el concreto de cemento Portland. Estos concretos son más resistentes a la erosión, a la abrasión y al ataque químico.

Estos materiales son aplicados en losas para pisos, techos, pavimentos, plantas de tratamiento y tanques para almacenamiento de agua.

Concretos que contienen polímeros

Existen tres categorías:

CP-Concreto polímero. Se polimeriza una mezcla de monómero y un agregado. Sus propiedades dependen de las propiedades y de la cantidad del polímero en el concreto. Un material utilizado con éxito es el azufre subproducto de las refinerías de petróleo, debido a que tiene una viscosidad baja. Se utilizan para cubiertas y trabajos de reparación y no son recomendables para la aplicación estructural puesto que fallarían a compresión bajo una carga sostenida.

CML-Concreto modificado con látex. Es el concreto de cemento portland convencional en el que se sustituye una parte de agua de mezclado por un látex(emulsión de polímero). El látex es una suspensión coloidal de polímero en agua. En la actualidad se utilizan los polímeros elastoméricos o tipo hule, basados en estirenobutadieno y copolímeros de poliácrlato. Sus ventajas más importantes son

que se adhiere fuertemente al concreto antiguo y tiene gran resistencia a la entrada de agua y sustancias agresivas, mejora la ductilidad, las propiedades de adherencia, la resistencia al ingreso del ion cloruro, la unión por cortante, y la resistencia a la tensión y a la flexión del concreto y del mortero.

Se utiliza en la rehabilitación de pisos deteriorados, pavimentos y plataformas de puentes.

CIP-Concreto impregnado con polímero. Se impregna o se infiltra un monómero(metilmetakrilato ó estireno) en un concreto de cemento Portland endurecido, después se polimeriza el monómero in situ utilizando una mezcla de monómero-catalizador para la penetración y luego se polimeriza al monómero calentando el concreto de 70° a 90°C, con vapor, con agua caliente ó con calentadores infrarrojos. Este concreto fue desarrollado a partir de los años setentas y la tecnología para su producción es mucho más compleja que para un concreto normal por lo que generalmente se elaboran como elementos precolados en fábrica. El proceso tiene los siguientes pasos: Colado de los elementos convencionales; Curado de los mismos; Secado y evacuación d aire; Inmersión del concreto seco en monómero; Sellado del monómero y Polimerización del monómero.

Los concretos de este tipo son se poco interés por el uso estructural y se utilizan en donde se requiere una excelencia en la durabilidad ante el ataque de soluciones químicas fuertes, de la abrasión ó del congelamiento.

Concretos de peso pesado para escudos contra la radiación

Se produce con agregados de mucho peso, tienen una densidad de hasta 6400Kg/m3 pero generalmente el peso unitario varía de entre 3360 a 3840 Kg/m3. Son utilizados en la fabricación de escudos biológicos en plantas de energía nuclear, investigación atómica, unidades médicas y en instalaciones de pruebas. Para estos

requerimientos este concreto es más económico y tiene mayores ventajas.

El concreto en general es un buen material de protección ya que atenúa tanto los neutrones como los rayos gama y los rayos X, ya que el concreto es una mezcla de hidrógeno, núcleos ligeros y núcleos de número atómico más alto. En relación a los rayos gama la efectividad del blindaje estará en relación a la densidad del concreto; esto es, a mayor peso mejor protección.

Sus propiedades físicas son similares a las del concreto normal a excepción de la densidad.

Su resistencia es de gran importancia cuando se utilizan en la fabricación de los recipientes de concreto presforzado para reactores, ya que operan a niveles altos de esfuerzo y temperatura y el concreto se somete a gradientes térmicos y de humedad de consideración.

Para la producción de estos concretos se utilizan agregados pesados como: baritina, ferrofósforo, goetita, hematita, ilmenita, limonita, magnetita, pepitas de punzonado de acero y perdigones de acero.

Concreto masivo

Cuando el concreto se encuentra en una estructura masiva con volúmenes de gran magnitud en elementos como Presas, compuertas, vigas, columnas o pilares y en donde se necesitan procesos especiales para evitar los cambios de volumen y la generación de calor, se dice que es un concreto masivo.

Donde se inicio el conocimiento acerca del incremento en la temperatura en el concreto y de la retracción con agrietamientos al enfriarse, fue en la construcción de presas. El concreto masivo también tiene que ver con elementos menos masivos cuyas prácticas de construcción son desarrolladas en un periodo largo de tiempo, pudiéndose mencionar las cimentaciones, traveses, columnas y muros de grandes estructuras.

En la reducción del abatimiento en la temperatura un proceso económico y efectivo

es el de limitar el calor de hidratación a través del manejo de la selección de materiales, control de las relaciones de la mezcla, correctas prácticas de construcción (Postenfriado, preenfriado y aislamiento de la superficie) en cuanto a control de la temperatura en el concreto masivo.

Concreto compactado con rodillo (CCR)

Es el producto de un desarrollo relativamente nuevo en la tecnología para la construcción de presas y compuertas.

Una mezcla de concreto que no tiene revenimiento es transportada, colocada y compactada de la misma forma y con el mismo equipo que el que se utiliza en presas de tierra y rellenas con roca.

Sus ventajas son que el consumo de cemento es menor debido a que se utiliza mucho concreto pobre; como se coloca por capas la metodología de cimbrado de colocación por capas abarata los costos; Existe bajo incremento de temperatura y no se necesita enfriamiento; la transportación se realiza en camiones de volteo; se esparce por motocomformadora y se compacta con rodillos vibratorios, lo que también abarata los costos; el concreto se coloca a mayor velocidad y el tiempo de construcción se reduce grandemente.

La primera estructura en el mundo hecha con CCR es la Presa Willow Creek en Oregon, Estados Unidos.

Concreto arquitectónico

Si hablamos del concreto como material plástico el cual es susceptible de ser moldeado para tomar formas inimaginables, a la vez de obtener superficies con texturas agresivas, así como, acabados delicadamente pulidos, podemos decir que ese concreto es un concreto arquitectónico.

"El concreto arquitectónico es aquél que queda expuesto como superficie interior o exterior

dentro de la estructura terminada, contribuye definitivamente a su carácter visual y está diseñado especialmente como tal en los planos y especificaciones del contrato." Concreto arquitectónico/ Arq. Heraclio Esqueda Huidobro/ pp 10

El diseño de mezcla para el concreto estructural y para el concreto arquitectónico es diferente aunque con materiales similares. La importancia en el diseño de las mezclas para concretos arquitectónicos radica en la motivación para producir superficies de acabados excepcionales.

En la arquitectura moderna este material brinda grandes posibilidades en el diseño de fachadas con diferentes texturas superficiales, colores, formas y acabados. Los agregados más utilizados son mármoles, ónix y gravas de diferentes colores.

En la producción de elementos de concreto arquitectónico se requiere de una participación mayor de la mano de obra, ya que se trata con aspectos estéticos como son la forma el color y la textura; para el control de calidad se realizan pruebas, inspecciones y modelos de referencia.

En cuanto a su preparación y composición el concreto arquitectónico se sujeta a las mismas normas tecnológicas que el concreto estructural.

Para cualquier tipo de concreto arquitectónico la relación agua-cemento no deberá ser mayor de 0.5 y se recomienda la adición de plastificadores o fluidificantes. Si la relación agua-cemento aumenta los tonos en el color del concreto endurecido cambian.

La resistencia mínima a la compresión se determinará en base a las consideraciones estructurales; la trabajabilidad dependerá de los sistemas de compactación y de las condiciones del lugar; el tipo de cemento(cemento gris, cemento blanco o cemento de color) y contenido se definirá en base a la trabajabilidad, resistencia y durabilidad requeridos.

Por lo general los concretos arquitectónicos son producto de la prefabricación y el empleo de técnicas de producción masiva; aunque también pueden ser elementos precolados o realizados en obra.

LA ERA ACTUAL Y EL CONCRETO EN LA OBRA

CAPÍTULO V

CONCRETO FRESCO

Hablar de concreto fresco es realmente hablar de concreto en edades tempranas en un tiempo aproximado de dos días después de haber sido producido. La trabajabilidad, el tiempo de fraguado y la madurez son algunas de las características del concreto fresco que afectan actividades como el mezclado, transporte, colocación, compactación, el acabado y el retiro de la cimbra; y su importancia radica en que estas operaciones adecuadamente controladas nos permitirán obtener un elemento acabado de concreto estructuralmente adecuado para cumplir con el propósito para el cual ha sido diseñado; de lo contrario las deficiencias adquiridas por el concreto fresco en las propiedades antes mencionadas lo pueden dañar y también pueden reducir su tiempo de vida de servicio.

Trabajabilidad

Se dice que un concreto fresco es trabajable cuando la mezcla presente una consistencia tal que pueda ser transportado, colocado y terminado con facilidad y sin segregación.

La trabajabilidad del concreto fresco es tan sólo una propiedad física que nos permite realizar las operaciones antes mencionadas, entendiéndose también como la cantidad de

trabajo interno útil que se requiere para producir una compactación total.

Esto es de vital importancia ya que existe una relación de densidad y una relación de resistencia (resistencia del concreto parcialmente compactado y la resistencia de la mezcla totalmente compactada) entre la compactación y la resistencia final del material. La presencia de cavidades en el concreto reduce su resistencia en forma considerable.

La trabajabilidad es una propiedad compuesta que involucra a la consistencia (facilidad de fluir) y la cohesividad (tendencia a sangrar o a segregarse). En la tecnología del concreto es una de las propiedades clave que deberá ser satisfecha, ya que a pesar de lo sofisticado del diseño de la mezcla o de los procesos de selección, una mezcla de concreto fresco que no puede ser colocada o compactada fácilmente no podrá convertirse en un concreto con la resistencia y durabilidad adecuadas.

Los factores internos que afectan la trabajabilidad son el contenido de agua, el contenido de aire (aditivos), el tamaño máximo de los agregados, la granulometría, la relación agua cemento y la forma y textura de los agregados.

Tiempo y temperatura

Los factores externos que afectan la trabajabilidad son el tiempo de manejo y la temperatura ambiente.

Al transcurrir el tiempo el concreto recién mezclado se rigidiza (proceso diferente al del fraguado), por la absorción de una parte del agua de mezclado hecha por los agregados, por la evaporación y por las reacciones químicas iniciales; la pérdida de trabajabilidad en función del tiempo dependerá de la riqueza de la mezcla, del tipo de cemento, de la temperatura del concreto, de las condiciones de humedad de los agregados y de la trabajabilidad inicial.

Los cambios de temperatura en el medio ambiente también afectan la trabajabilidad, por ejemplo en un día cálido se deberá aumentar el contenido de agua en la mezcla, para tener trabajabilidad constante. Los efectos reales se observan cuando la temperatura ambiente es mayor de 50 grados centígrados y la humedad relativa menor del 20%.

No existen pruebas para medir en forma directa la trabajabilidad del concreto fresco, sin embargo la prueba del revenimiento es de utilidad para detectar las variaciones de uniformidad de una mezcla, dentro de determinadas proporciones nominales. Se menciona esta prueba puesto que es la más utilizada.

Pérdida de revenimiento.

Es la pérdida de la consistencia en un concreto fresco con el tiempo que ha transcurrido desde su fabricación.

Lo anterior se puede deber al uso de un cemento de fraguado anormal, a un tiempo mayor a lo normal para la operación de mezclado, transporte, colocación, compactación o acabado; o a una alta temperatura en el concreto provocada por un

excesivo calor de hidratación y/o al uso de materiales calientes debido a su almacenamiento.

Existen otras pruebas que se relacionan con la trabajabilidad aunque ninguna la mide directamente, y estas son : *Prueba del factor de compactación, Prueba de fluidez, Prueba de remoldeo, Prueba vebe, Mesa de fluidez Alemana, Prueba de la esfera Kelly, Sonda K de Nasser y prueba de dos puntos.*

La prueba del factor de compactación tiene relación con el recíproco de la trabajabilidad, la prueba Vebe mide las propiedades del concreto bajo vibración, la de remoldeo es a base de sacudimiento de la mezcla y la del factor de compactación se basa en las condiciones de caída libre. De todas el aparato del factor de compactación es el más adecuado para ser utilizado en la obra.

La prueba de fluidez es de utilidad para evaluar la cohesión de una mezcla en el laboratorio. Las pruebas de revenimiento y penetración son útiles debido a que son pruebas comparativas.

Contenido de aire

El aire incluido aumenta el volumen de la pasta y mejora la consistencia del concreto para un contenido de agua dado. Otra de sus propiedades es que aumenta la cohesividad debido a la reducción de sangrado y la segregación. Este mejoramiento en la consistencia y cohesividad se denota más en las mezclas poco trabajables y ásperas como el concreto masivo el cuál tiene bajo contenido de cemento.

Las burbujas de aire forman parte de la pasta y afectan su plasticidad y a ciertos tamaños las burbujas de aire se conducen como partículas finas de arena, teniendo como consecuencia un mejoramiento en la trabajabilidad de la mezcla de concreto fresco. Sin embargo una

variación importante en el contenido de aire provoca un cambio negativo en el revenimiento y en la resistencia. Para condiciones especiales de congelamiento y deshielo se utilizan aditivos inclusores de aire (Ver capítulo Aditivos).

Los porcentajes de vacío de aire en la mezcla son de alrededor del 2% o menos, estos vacíos naturales generalmente son más grandes que los provocados por un aditivo inclusor de aire. En la mayoría de las ocasiones el concreto atrapa volúmenes de aire mayores que los correspondientes a los naturales o de burbujas introducidas.

En el concreto fresco el contenido de aire se determina por medio de:

Método gravimétrico (ASTM C 138). La totalidad del aire se obtiene, restando la suma de los volúmenes absolutos de los ingredientes de una mezcla, del volumen aparente del concreto mezclado determinado mediante su peso unitario.

Método volumétrico (ASTM C 173). Se extrae el aire y se mide el volumen de los ingredientes sólidos.

Método de presión (ASTM C 231). A partir de la variación de volumen del concreto debida a la aplicación de una presión conocida se determina la cantidad de aire incluido.

Peso (contenido de cemento)

Si tenemos un concreto normal, al existir una disminución grande en el contenido de cemento, esto genera mezclas de concreto fresco ásperas y de acababilidad pobre, por el contrario las mezclas de concreto fresco con alto contenido de cemento tienen una tendencia a ser pegajosas.

Fenómenos importantes en el concreto fresco o de edad temprana.

Fraguado del concreto y tiempo de fraguado

En el capítulo I se habló del fraguado de la mezcla cemento agua. Por no pocas razones el tiempo de fraguado del concreto no es el mismo que el tiempo de fraguado del cemento con que se ha fabricado.

El fraguado del concreto es entendido como el inicio de la solidificación de una mezcla de concreto fresco. Los tiempos inicial y final del fraguado de concreto se definen por medio de la prueba de resistencia a la penetración.

El tiempo inicial determina el límite del manejo del material; es el tiempo en el cual el concreto ya no puede ser mezclado adecuadamente, colocado y compactado y el tiempo final determina el comienzo del desarrollo de la resistencia mecánica; es el tiempo después del cual la resistencia toma una velocidad de desarrollo significativa.

Segregación. Se entiende como la separación de los diferentes elementos que conforman una mezcla heterogénea, de tal forma que se pierde la uniformidad en la distribución de los mismos.

Lo que causa la segregación en el concreto es la diferencia en el tamaño de las partículas y en la densidad de los componentes que lo forman, por lo que hay que elegir una granulometría adecuada cuidando el manejo de la mezcla.

Un tipo de segregación se da cuando las partículas más gruesas se desplazan hacia afuera o se asientan. Otro tipo de segregación es cuando la lechada se separa de la mezcla por la falta o el exceso de agua.

Sangrado. Se presenta cuando parte del agua de la mezcla tiene una tendencia a subir a la superficie del concreto recién colado y es conocido también como "ganancia de agua". Debido al sangrado la superficie de cada colado puede quedar muy húmeda y, si el agua queda atrapada entre elementos superpuestos del concreto, tendremos un concreto débil, poco durable y poroso.

Si el agua que sube contiene partículas muy finas de cemento en gran cantidad, se formará una superficie porosa y permanentemente polvosa, la cual deberá ser retirada con cepillado y lavado.

El sangrado puede ser considerado como un caso especial de sedimentación.

Especificaciones de importancia en el manejo de concreto fresco premezclado (ASTM C 94-96).

Unidad

La unidad base de concreto fresco sin fraguar descargado de la mezcladora será el metro cúbico o la yarda cúbica.

Volumen

El volumen de concreto fresco y sin fraguar de una mezcla en particular se determina con el peso total de la mezcla dividido entre el peso unitario de la mezcla.

Peso

El peso total de la mezcla se calculará como la suma de los pesos de todos los materiales que la integran, incluyendo el agua, o como el peso neto del concreto en la mezcla.

El cemento deberá medirse por peso. Cuando se especifiquen aditivos minerales, se podrán pesar acumulativamente con el cemento, pero por separado.

Los agregados deberán medirse por peso, basado en materiales secos más el peso total de la humedad.

El agua de mezclado se medirá en peso o en volumen con precisión del 1%.

Mezclado

El concreto premezclado debe mezclarse y entregarse de acuerdo a alguna de las siguientes combinaciones de operaciones:

Concreto mezclado en planta central

Concreto mezclado en dos fases

Concreto mezclado en camión

Fabricación de especímenes para prueba

Muestreo. Es recomendable que las muestras se tomen en el lugar donde la mezcladora descarga el concreto, tomándolas de varios lugares en cantidades suficientes para el número de especímenes a realizar. Se deberán manejar y mezclar con el mínimo de movimientos y protegiéndolas contra la pérdida de humedad. Cuando el muestreo no es apropiado la información obtenida de las pruebas es equivocada (ASTM C 172).

Moldeo. La mezcla de concreto fresco debe ser colocada en el molde en tres capas, varillando cada una de ellas 25 veces antes de colocar más cantidad de mezcla; si el revenimiento es menor de 2.5cm deberá vibrarse.

Forma del espécimen. Será cilíndrico con altura de dos veces el diámetro (15x30), el cual será al menos cuatro veces mayor que el tamaño de las partículas más grandes del agregado grueso. Se deberán evitar las bases de forma irregular pues tienden a reducir la resistencia.

El secado del espécimen inmediatamente antes de la prueba aumenta la resistencia a la compresión pero disminuye la resistencia a la flexión. Los cabeceos de los especímenes deberán estar dentro de .005 cms de un plano perfecto. (ASTM 617).

Para el ensayo de probetas cilíndricas una de las placas de apoyo deberá tener cabezal con asiento esférico para la mejor distribución de las cargas en la sección transversal del espécimen.

Sabemos que hay factores de gran importancia para que la producción de un concreto cumpla los requisitos básicos de resistencia y durabilidad en una estructura determinada, como es el seleccionar adecuadamente los materiales y las proporciones de la mezcla (diseño). Pero estos no cumplirán su cometido si no enfocamos nuestra atención en las operaciones y procesos a los cuales se ve sometido el concreto en estado fresco (edad temprana).

Como en muchas cosas en la vida, si no se tiene especial cuidado en las primeras etapas, los resultados a largo plazo no serán satisfactorios; de la misma manera el concreto no cumplirá con su objetivo final al conformar una estructura, si no es manejado adecuadamente en sus primeras etapas.

Esto se explica mejor si pensamos que los daños permanentes que pueda presentar durante su vida útil, serán debidos a las deficiencias presentadas por la mezcla de concreto fresco, traducidas como pérdida de trabajabilidad, segregación y sangrado y un lento proceso de maduración.

De aquí la importancia de conocer con claridad estos eventos para así poder encontrar soluciones adecuadas cuando estos se presentan o sencillamente evitar que se presenten al tener un manejo adecuado del material en su etapa inicial.

CAPÍTULO VI EL CONCRETO EN OBRA

Mezclado

El procedimiento de mezclado a mano en la obra es generalmente muy costoso, razón por la cual se justifica el uso de mezcladoras mecánicas para estos trabajos.

En la actualidad y en la mayoría de los países del mundo, la mayor parte del concreto se proporciona (automática o semiautomáticamente) y se mezcla en plantas de concreto premezclado, reduciendo la fabricación manual a un 25% del total fabricado por los constructores.

El objetivo de mezclar es el de recubrir absolutamente todas las partículas del agregado con la pasta de cemento y combinar todos los componentes hasta lograr una masa uniforme cuidando de no perder esa uniformidad ni siquiera durante el proceso de descarga de la mezcladora.

El trabajo de mezclado puede realizarse en la obra, en mezcladoras de tipo estacionario o del tipo para pavimentación, o en una planta central ubicada no tan cerca de la obra, misma que puede contar con mezcladoras estacionarias de capacidades hasta de 9 metros cúbicos, del tipo inclinado o no inclinado.

Mezcladoras

Existen mezcladoras de tambor de volteo o no de volteo que tienen un tambor de forma cónica o de olla, con aspas en su interior; Y mezcladoras de artesa, las cuales no suelen ser móviles y se utilizan mucho en la elaboración de concreto prefabricado, en las grandes obras y en las plantas mezcladoras centrales.

Están formadas principalmente de una artesa circular que gira sobre su eje, con una o dos

estrellas de aspas que a su vez giran sobre un eje vertical que no es

coincidente con el eje de la artesa. Con unas cuchillas raspadoras se evita que el mortero se pegue a los lados de la mezcladora.

También hay mezcladoras de tambor doble utilizadas por lo general en obras de carreteras y mezcladoras continuas alimentadas por un sistema de dosificación por peso ininterrumpida.

Independientemente de la mezcladora, se hace necesario que exista suficiente intercambio de materiales en las diferentes partes de la cámara para poder obtener un concreto uniforme.

Tiempos de mezclado

Estos varían dependiendo del tamaño y del tipo de mezcladora.

Lo nuevo

Durante los últimos 50 años la industria del mezclado de concreto a evolucionado a grandes pasos, teniéndose ahora plantas equipadas con sistemas automáticos o semiautomáticos de proporcionamiento de mezclas, trabajando en base a microprocesadores y computadoras.

El mezclado en plantas centrales a aumentado entre el 15 y el 27% al contrario del mezclado en camiones el cual ha sufrido un decremento.

En los últimos años se han dado cambios en las especificaciones con relación a la resistencia y al comportamiento del concreto, por lo que los productores de concreto premezclado están afrontando una creciente

responsabilidad técnica hablando de diseño de mezclas y de control de calidad.

Transporte

Entendemos como concreto premezclado a aquel que es fabricado para ser entregado en estado plástico.

El transporte del mismo a lugar de la obra deberá realizarse a la prontitud posible, para evitar la rigidización del concreto que impide una compactación completa y un acabado adecuado.

Cuando se conserva una velocidad lenta de agitación, o se mezcla periódicamente, puede sufrir pérdida de revenimiento (ver concreto fresco) con el tiempo, que no será de importancia si la colocación y compactación no se realizan después de aproximadamente 11/2 horas. Es importante tener cuidado con los retrasos en el transporte del material.

Los métodos más comunes y el equipo para transportar concreto se pueden consultar en la tabla ^{*****}

Lo nuevo

Realmente hemos tenido pocos cambios en la manera de transportar el concreto en los últimos 40 años. Pero lo que si ha evolucionado es la tecnología que ha propiciado un desarrollo de mejores máquinas para hacer este trabajo más eficiente. De tal suerte que la carretilla se ha transformado en carro mecánico, el vagón tirado por caballos es el camión mezclador de concreto de la actualidad, la cubeta levantadora con garrucha es ahora una grúa y las torres y ductos para colocar el material en edificios de concreto reforzado son ahora las torres grúa tan comunes en las ciudades modernas.

Colocación, compactación y acabado.

Cuando el concreto premezclado es llevado al lugar en donde se encuentra la obra deberá

depositarse tan cerca como sea posible del lugar final para su colocación, además de que no es conveniente que sea movido a una distancia muy grande antes de colocarlo en las cimbras. El material se deposita en capas (de espesor uniforme) horizontales, compactadas completa e individualmente.

Se deberá cuidar que la capa inferior este plástica al colocar una nueva capa. Cuando el concreto fresco se coloca sobre concreto endurecido, se producen líneas de flujo, planos de debilidad y juntas frías.

Una vez colocado, para eliminar bolsas o aire atrapado se realiza el proceso de compactación, dicho proceso puede realizarse a mano con varilla y apisonamiento, o por medio de métodos a base de aparatos mecánicos como son los vibradores y los compactadores eléctricos. Las mezclas muy consistentes deberán tener un trato especial ya que se puede producir segregación en el concreto si es trabajado intensamente.

El método más utilizado para compactar concreto es el *vibrado(interno o externo)*, que consiste en forzar al aire atrapado para que salga del concreto; la fricción interna que existe entre las partículas del agregado grueso se reduce en gran medida con el vibrado por lo que la mezcla fluye y la compactación se facilita. La penetración deberá ser rápida para que el aire pueda escapar.

Tipos de vibradores

Internos o de inmersión. son utilizados para la compactación en muros, losas, trabes y columnas. Se tienen de eje flexible con cabeza cilíndrica vibradora conectada a un motor conductor a través de un eje flexible; debido a un peso no balanceado la cabeza gira en una órbita circular.

Externos o de cimbra. Se anclan a la parte exterior de la cimbra y son utilizados para compactar elementos delgados o elementos

fuertemente reforzados. Mejoran la adherencia concreto refuerzo al ayudar a retirar el aire y el agua atrapados bajo las varillas de refuerzo. Las plantas productoras de elementos precolados por lo general utilizan mesas vibratorias con equipo de control adecuados de tal forma que pueden variarse frecuencia y amplitud base al tamaño de los elementos y a la consistencia de la mezcla de concreto.

Revibrado del concreto

Es necesario en ocasiones después de la compactación inicial(1 o 2 hrs) y antes del fraguado para unir los colados sucesivos. De esta manera se evitan grietas, áreas débiles o huecos debidas al sangrado o al fraguado.

Acabado

Los acabados generalmente se realizan par crear superficies libres de mantenimiento; algunas requerirán solamente de nivelación y enrasado, mientras que otras necesitarán procesos más elaborados y en combinación con el fraguado y el endurecimiento de la mezcla.

Cuando se elimina el exceso de concreto para obtener un nivel determinado se dice que se realiza un "enrasado". Este procedimiento se realiza con una regla de borde recto y una llana de mango largo para lograr la nivelación.

Al procedimiento de embeber firmemente el agregado, compactando la superficie y eliminando imperfecciones se le conoce como flotado. Se realiza con llana de madera o de metal y deberá ser terminado antes de que el exceso de sangrado se acumule en la superficie.

Se deberá tener cuidado con esta operación ya que tiende a atraer la pasta de cemento a la superficie y podría debilitarla si se realiza por largo rato o demasiado temprano.

Si la superficie se requiere tersa y altamente resistente se utiliza una llana metálica, por el contrario si se desea una superficie antiderrapante, ésta se obtiene por medio de un rayado justo antes de que el concreto se endurezca por completo.

Curado y descimbrado

Como se ha venido planteando en secciones anteriores el curado del concreto tiene como objetivos el control de la temperatura de la mezcla y de la pérdida de humedad en la misma, durante un tiempo suficiente para conseguir la resistencia deseada.

Tenemos diferentes tipos de curados como son:

En climas con temperatura ambiente buena

Por inmersión o por encharcamiento.

En losas y pavimentos.

Por rociado o por neblinado

Por cubiertas saturadas de agua para retener humedad(algodón o Yute)

Por sellado de la superficie con papel curado a prueba de agua, hojas de polietileno o compuestos de curado que pueden formar membrana.

En climas con temperatura ambiente baja

Por medio de vapor vivo

Con resistencias para calentamiento

Por cimbras o cubiertas calentadas eléctricamente

Juntas

En las construcciones de concreto es común la utilización de juntas entre ciertos elementos.

Juntas más comunes(en pisos y en muros):

De aislamiento o juntas de expansión

Estas juntas permiten el ejercicio de movimientos diferenciales en forma vertical y horizontal en las partes adyacentes a la estructura. Los espesores de los materiales utilizados para este tipo de juntas son de entre 6 y 12 mm.

Se utilizan alrededor del perímetro de un piso colado en el terreno, alrededor de cimentaciones para maquinaria y alrededor de columnas y losas.

Juntas de contracción o de control

Son las que permiten la movilidad en el mismo plano de la losa o el muro. Son construidas para permitir la transferencia de cargas perpendiculares al plano de la losa o del muro.

Si no se utilizan estas juntas ocurrirán agrietamientos de forma aleatoria cuando las contracciones por secado y por temperatura propicien esfuerzos de tensión mayores que la resistencia a tensión del material.

Las juntas de contracción se pueden realizar con corte de sierra o con insertos premoldeados (tira preformada de plástico o de madera). El aserrado deberá estar en sincronía con el tiempo de fraguado del concreto y antes de que los esfuerzos de la contracción por secado produzcan agrietamientos. Los insertos premoldeados deberán tener su parte superior a ras de la superficie de concreto. Todas las juntas de contracción serán desarrollarse a un cuarto de espesor del elemento estructural.

En los muros las juntas de contracción se presentan como planos de debilidad para permitir movimientos diferenciales en el plano del muro. En muros con refuerzo, la mitad de las barras de acero se deberán cortar en la junta. Los espaciamientos entre las juntas en muros no serán mayores de 6 mts.

Juntas de construcción

Son lugares de paro en el proceso de construcción.

Estas deberán unir al concreto nuevo con el concreto existente sin permitir ningún movimiento. Para restringir los movimientos en las juntas de construcción se utilizan las barras de anclaje deformadas. Dependiendo del caso se pueden utilizar barras pasajuntas sin ligar, juntas machiembradas o juntas a tope de cara plana.

Arquitectónica y funcionalmente en las estructuras se desea tener juntas en los muros que no tengan efectos sobre la apariencia. Por lo general si están bien construidas son insignificantes, si no pueden ser escondidas con tiras rústicas (rectangulares, en forma de V o biseladas).

Las juntas horizontales en los muros serán rectas y colocadas en lugares adecuados.

Descimbrado

Es el trabajo último que se realiza en la edad temprana del concreto. El descimbrado no deberá realizarse antes que el concreto adquiera una resistencia suficiente para soportar los esfuerzos debidos a las cargas muertas como a las cargas de construcción, ni antes de adquirir dureza suficiente para que no se dañe durante el proceso de descimbrado o durante otras actividades de la obra.

El tiempo de descimbrado no deberá ser arbitrario sino basado en la medida de la resistencia.

Concreto en Climas Fríos

CLIMA FRIO SE DEFINE AL PERIODO EN EL QUE DURANTE MÁS DE 3 DÍAS SUCEIVOS, LA TEMPERATURA MEDIA DIARIA CAIGA POR DEBAJO DE 4° C.

Los concretos se pueden colar en climas fríos de forma segura si se toman las precauciones necesarias. El concreto se deberá proteger para conservar su temperatura durante el proceso de construcción con: vapor, recintos, rompnevientos, cimbras aisladas, calentadores

portátiles, cobertores eléctricos de termostatos, alambres de resistencia eléctrica y mantas.

El concreto desarrolla poca resistencia en condiciones de bajas temperaturas (reducción hasta del 50% en resistencia), y el congelamiento puede afectarlo de forma muy negativa. Un concreto que contiene aire incluido es menos afecto al daño por congelamiento que uno que no lo tiene, Condiciones de baja temperatura retardan la hidratación, el endurecimiento y el desarrollo de resistencia del concreto. La utilización de cemento tipo III nos permite obtener resistencias iniciales mayores. Durante su endurecimiento el concreto genera calor (ver capítulo I) llamado calor de hidratación el cual es de gran utilidad en estos casos ya que si se genera el suficiente no serán necesarios otros sistemas (fuentes de calor) de protección al concreto.

Otras opciones serían :adicionar cemento portland de 60 a 120 kgs por metro cúbico o utilizar acelerantes químicos como el cloruro de calcio (ver aditivos capítulo II). Los acelerantes con cloruro no son recomendables cuando se tienen restricciones en cuanto a la corrosión, cuando el concreto estará expuesto a suelos o aguas sulfatados o cuando es susceptible a reacciones alcali-agregado. La inclusión de aire es muy recomendable en los concretos que se colocan en climas muy fríos.

En estos casos de temperaturas ambientales bajas la temperatura de los agregados es de consideración; cuando los agregados están por debajo de las temperaturas adecuadas deberán de ser calentados siendo el método a base de vapor el más utilizado. El agua de mezclado es otro de los ingredientes que deberá ser calentado pero este proceso es más sencillo y práctico. Para evitar el fraguado rápido en el material los ingredientes calentados se mezclaran primero antes de agregar el cemento.

En climas fríos el colado de concretos a nivel de terreno requiere de las siguientes consideraciones:

El terreno deberá estar descongelado antes de colar el concreto; la hidratación del cemento proporciona parte del calor para curar; Se pueden utilizar recintos fácilmente contruidos o mantas aislantes; y en casos de losas para piso se requerirá de un calentador con ventilación si es un área cerrada.

Los colados de concreto en clima frío por encima del nivel de terreno tendrán las siguientes consideraciones: Se construirán recintos (madera, lona, polietileno o prefabricados de plástico rígido) para poder retener el calor bajo las losas de pisos y azoteas; Los calefactores portátiles pueden ser de flama directa pero sin ventilación; y la mezcla de concreto no necesariamente será modificada para generar calor porque se pueden utilizar calefactores portátiles.

El proceso de enfriamiento después de la calefacción no deberá ser acelerado sino gradual, de lo contrario se producirán agrietamientos térmicos.

En estos casos la cimbra ayuda a distribuir el calor más uniformemente, a prevenir el sobrecalentamiento y el secado, por lo que deberá permanecer en su lugar el mayor tiempo posible.

Concreto en climas cálidos

En el concreto fresco el clima cálido puede provocar un mayor requerimiento de agua, elevadas velocidades de fraguado, pérdidas aceleradas de revenimiento, problemas para el control de aire incluido, mayores tendencias al agrietamiento plástico y la necesidad de un curado inmediato.

La solución del problema no es tan fácil pues si se le agrega agua al concreto en la obra se pueden reducir propiedades como la resistencia, la durabilidad y la impermeabilidad. También se obtiene una superficie no uniforme

y una tendencia muy grande a la contracción por secado.

La temperatura ideal para el concreto fresco es de entre 10 y 16° C, aunque se pueden aceptar temperaturas que sean menores a 32°C y mayores a 10°C y esta puede variar de un concreto a otro dependiendo de las condiciones particulares de cada obra.

No es recomendable la adición de agua a la mezcla sin adición de cemento ya que la relación agua-cemento se incrementa, provocando con esto una disminución en la resistencia, además de afectar otras propiedades del concreto endurecido (Capítulo I).

Cuando la velocidad de se incrementa debido a las altas temperaturas, se acortan los tiempos de transporte, colocación y acabado del material. El uso de aditivos retardantes puede ayudar a contrarrestar este fenómeno.

Los aditivos inclusores de aire agregados en mayor cantidad de lo normal, contrarrestan el agrietamiento por contracción plástica producto de las temperaturas elevadas del concreto. Para disminuir la temperatura del concreto se hace necesario enfriar los materiales que lo conforman, justo antes del mezclado. Los agregados y el agua deberán estar lo menos caliente posible. El agua es el elemento con más facilidad para enfriarse y lo recomendable es utilizar agua de mezclado proveniente de una fuente fría ó enfriada por refrigeración, con hielo ó con nitrógeno líquido en las plantas de concreto premezclado.

En relación a los agregados, estos se mantienen húmedos por aspersión ajustada y también por medio de la protección contra el sol.

En el cemento la temperatura máxima para poderlo utilizar en el concreto sin tener problemas es de 77°C.

En realidad como podemos ver, es mejor determinar una temperatura máxima para el concreto fresco, que poner límites de temperatura para cada componente.

Recomendaciones

Los equipos para colcar el concreto estarán protegidos a la sombra, pintados de color blanco ó cubiertos con mantas húmedas.

Las cimbras y el acero de refuerzo se rociarán con agua fría sin permitir residuos de agua libre o charcos sobre cimbras o subrasantes.

Cuando el clima es extremadamente caluroso se recomienda colocar el concreto en la tarde, en la noche o en la madrugada.

Se deberá transportar y colocar lo más rápido posible para evitar pérdida de revenimiento, y que el mezclado no sea muy prolongado.

En el colado se tratará de evitar juntas frías que se forman como resultado del endurecimiento rápido. Esto se logra con la utilización de rompevientos y pantallas para sol.

El emparejado (acabado) se realiza inmediatamente después que el brillo del agua desaparezca de la superficie.

Las grietas por contracción plástica están asociadas a los colados en climas calientes; éstas grietas se deben a la evaporación rápida (debida a las altas temperaturas) en la superficie del concreto, la que origina contracción por secado y esfuerzos de torsión. Los factores principales que promueven estas grietas son la baja humedad, vientos fuertes y la temperatura alta del concreto y del aire.

Para el proceso de curado el agua no deberá estar tan fría (al contrario del agua para mezclado) y se deberá regar con manguera sobre la superficie descubierta del concreto. Es requerimiento un curado húmedo durante todo el periodo de curado y si éste no se puede prolongar por más de 24 horas se utilizarán protecciones con papel para curado, láminas de plástico o compuestos que formen membranas mientras la superficie está húmeda.

Por lo general cuando se presentan anomalías en la madurez de las mezclas de concreto fresco, se tiende a suponer que

son debidas a un inadecuado proceso de mezclado, por lo que se hace necesario que si tenemos ingredientes proporcionados con precisión estos estén mezclados completamente y de manera eficaz para lograr tener una masa homogénea.

Los equipos utilizados en estos procesos dependerán del tipo de obra, de las condiciones económicas, de las condiciones ambientales, de la cantidad de concreto requerida y de los tiempos disponibles.

PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

En el momento en que el concreto fragua, el volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene poros que contienen agua y aire sin resistencia alguna, la resistencia se encuentra en la parte sólida de la pasta; así entre menos porosa sea la pasta de cemento, mucho más resistente es el concreto. La velocidad de reacción entre el cemento y el agua determina los tiempos de fraguado y endurecimiento. El aumento de la resistencia será continuo mientras exista cemento sin hidratar, pero cuando caiga hasta cerca del 80% o la temperatura del concreto descienda por debajo del punto de congelación, el aumento de resistencia y la hidratación prácticamente se detienen; el concreto requiere de humedad para hidratarse y endurecer (ver curado del concreto).

El concreto endurecido presenta ahora propiedades como el material resultante que es, entre las que se encuentran la resistencia, la elasticidad, el flujo plástico, valor de aislamiento, resistencia al fuego, resistencia al desgaste, conductividad eléctrica y durabilidad.

Para que el comportamiento del concreto endurecido resulte satisfactorio, se requiere que el concreto posea ciertas propiedades específicas. Es por esto que las pruebas y el control de calidad son necesarios en el proceso constructivo para determinar si se

cumplen los requisitos especificados para las propiedades del concreto.

Pruebas al concreto

Por lo general se desarrollan programas de control de calidad en las obras con el objetivo de asegurar que los elementos estructurales de concreto cumplan con la función para la que fueron diseñados y fabricados.

En la época actual se diseñan y construyen grandes estructuras de concreto a diferentes velocidades de construcción que en el pasado, y esta es la razón por la cual se requieren pruebas específicas para apoyar la decisión que se toma con respecto a la calidad de un concreto.

Las pruebas que pueden dar soluciones prácticas y seguras son las pruebas aceleradas de resistencia. Estas pruebas son más utilizadas actualmente en los grandes proyectos, ya que en ocasiones se llega a pensar que las pruebas en muestras de concreto obtenidas de las mezclas antes de su colocación pueden no ser representativas de la verdadera calidad del concreto trabajado, además de ser más costosas.

Pruebas destructivas

Prueba acelerada de resistencia

Se realiza la evaluación preliminar de uno a dos días después de que el concreto es colocado, para saber si alcanzará el nivel de resistencia especificado. Un resultado bajo en la prueba nos puede prevenir sobre algún problema de consideración y da la oportunidad de reaccionar a tiempo para resolver el problema.

Procedimientos abarcados por ASTM C 684.

Método del agua caliente.

Se curan cilindros estándar en moldados, con un baño de agua a 35 grados centígrados por

un día (24hrs). A pesar de que la adquisición de resistencia no es muy alta comparada con la resistencia a 28 días de un curado con humedad a temperatura normal, la prueba es un método considerado apropiado para un control de rutina en el concreto.

Método del agua hirviendo

Se curan cilindros por 24 horas de manera tradicional y después se curan en baño de agua hirviendo a 100 grados centígrados durante 3 horas, Los cilindros se prueban una hora después. Este es el método más utilizado pues no se necesita un laboratorio en la obra pues se logra una mayor resistencia a las 28 hrs lo cual les permite ser transportados a un laboratorio central.

Método autógeno.

Se realizan las muestras en cilindros de material aislante y con la temperatura de reacción del concreto se logra la aceleración en la adquisición de resistencia; los cilindros se prueban a las 48 horas. Es el método menos preciso. Esta prueba se designo como parte del control de calidad en la construcción de la Torre de Comunicaciones CN en Toronto, Canada con 30,430 metros cúbicos de concreto y 553.58 metros de altura.

Pruebas no destructivas

En busca de encontrar pruebas directas de resistencia alternativas, se ha llegado a desarrollar pruebas de resistencia no destructivas (In situ), que son una buena opción de control de calidad en la obra y de reducción en los costos de las pruebas de control. Hay que tener cuidado de no considerarlas como una sustitución total de las pruebas de resistencia de núcleos o pruebas estándar de compresión.

Existen dos tipos, las que miden alguna propiedad del concreto de la cual se pueda hacer una estimación de la resistencia,

durabilidad y comportamiento elástico; y las que determinan la posición, el tamaño y la condición del refuerzo, huecos y grietas por una pobre compactación y el contenido de humedad del concreto en estudio.

Dureza de la superficie

Lo más comúnmente utilizado par esta prueba es el martillo de rebote Schmidt. Se impacta la superficie del concreto de una forma consistente, midiendo el tamaño del reboto o de la huella debidos a una fuerza de impacto aplicada.

Los factores que influyen en los resultados son la humedad en la superficie, la suavidad, el tamaño de espécimen, el tipo de agregado grueso y el grado de carbonatación.

Resistencia a la penetración

Se utilizan dispositivos activados por energía, como lo es el probador Windsor. Este método es muy bueno para medir la velocidad relativa del desarrollo de la resistencia del concreto en edades tempranas(concreto fresco). En este sistema se utiliza pólvora para descargar un probador de una aleación endurecida en el concreto.

Pruebas de extracción

Se diseña una pieza de acero para insertarla en el concreto fresco, y después ser extraída por medio de un dinamómetro. Se puede utilizar par determinar el tiempo apropiado para el descimbrado. Su gran ventaja es que se trata de medir directamente la resistencia del material In situ. Su desventaja es que se tiene que programar con anticipación, aún y cuando ya se están desarrollando nuevas técnicas para librar esta dificultad.

Velocidad del pulso ultrasónico

En esta prueba se mide el tiempo que tarda una onda ultrasónica en viajar a través del concreto. Los tiempos de viaje entre el impulso

inicial y la recepción del pulso son medidos electrónicamente.

Este método es recomendado sólo para control de calidad.

Medidores de madurez

Se han desarrollado para estimar la resistencia del concreto en base a monitorear la temperatura del concreto con el tiempo. Esto es porque la madurez del concreto varía en función del tiempo y la temperatura.

Medidores del recubrimiento y pacómetros

Son dispositivos magnéticos sustentados en el principio de que la presencia del acero afecta el campo de un electromagneto. Se utilizan para determinar la posición de las varillas de refuerzo y la profundidad del recubrimiento.

Otros métodos

Los métodos eléctricos están siendo utilizados para realizar evaluaciones del concreto en obra.

Se tienen métodos radiográficos para conocer la posición del refuerzo, huecos de aire, segregación y agrietamiento.

Las técnicas de pulso-eco se están desarrollando para delinear huecos y discontinuidades internas en el concreto.

Pruebas de corazones

Cuando los métodos de prueba in situ revelan algunos problemas en el material, tales como, agrietamiento interior o zonas con concreto más débil, se realizan pruebas de resistencia directa en núcleos que se obtienen por medio de un taladro rotatorio de diamante.

En la producción masiva y de gran nivel industrial, el control de calidad debe basarse

en métodos estadísticos de procesamiento de datos y de toma de decisiones, los procedimientos estadísticos están apoyados en leyes de probabilidad y para que estas funcionasen los datos obtenidos se deberán obtener por muestreo al azar.

Gráficas de Control

La herramienta más importante es la utilización de gráficas de control, que presentan los resultados de las pruebas realizadas con la presencia de líneas límite que indican cuando es necesario actuar si las gráficas se aproximan a estos límites.

DURABILIDAD

Conceptos básicos

Factores para un concreto durable

Cuando el concreto puede soportar las condiciones para las que ha sido diseñado y fabricado sin mostrar deterioro o desgaste por cierto número de años, se dice que es un concreto durable.

La durabilidad del concreto no sólo depende de causas externas sin que también se ve afectada por causas internas debidas al mismo material.

Por causas externas podemos entender a las de tipo físico, químico o mecánico; causadas por la abrasión, por el ataque de líquidos o gases naturales o industriales, por el intemperismo o por la acción electrolítica.

El grado de perjuicio reflejado en el concreto dependerá en gran medida de la calidad de elaboración del material, considerando de todas formas que cualquier concreto se deteriora cuando está bajo condiciones extremas.

Dentro de las causas internas tenemos las reacciones álcali-agregado (tratadas en el capítulo I), la permeabilidad del concreto y las propiedades térmicas del agregado y de la pasta de cemento. Se puede decir que para que un concreto sea durable deberá ser relativamente impermeable; la permeabilidad determina la facilidad relativa con que se puede saturar de agua el concreto y es la que permite la penetración o no de líquidos o sustancias nocivas al concreto.

Buenas prácticas en la construcción

La calidad del concreto en su fabricación es de gran importancia, puesto que, por lo general la afectación en la durabilidad no se da como producto de una sola causa y es difícil determinar que factor es el que está causando el mayor deterioro, por lo que se debe de poner especial énfasis en la realización de buenas prácticas de construcción las que se pueden resumir en lo siguiente

Agregados limpios y libres de sustancias orgánicas u otras de carácter perjudicial, y su constitución deberá garantizar su durabilidad particular.

métodos de almacenamiento y manejo de los agregados, así como la medición de ingredientes que permitan obtener mezclas adecuadas en todo momento.

Mezclado adecuado del concreto, transportado y colocado en base a procedimientos que eviten efectos negativos en el material, como son la segregación y falta de homogeneidad y uniformidad.

Se deberán cuidar aspectos como la disposición de juntas y métodos de liga entre colados sucesivos, pues afectan la durabilidad del concreto si no son realizados correctamente.

Se deberán evitar áreas de saturación constante que son factibles de ser dañadas por el congelamiento.

Se protegerá el curado del concreto sobre todo en zonas de temperaturas extremas así como el suministro de humedad durante los periodos críticos iniciales.

EL CONCRETO HACIA EL FUTURO

Capítulo VII Hacer buen concreto

A pesar de que el concreto es el material de construcción más ampliamente utilizado en el mundo, una alta proporción del concreto en servicio no es tan bueno como debería o podría estar, la cual no es una situación muy alentadora. Sin embargo tenemos la capacidad y los medios para hacer buen concreto, pero no siempre lo hacemos.

Hablar de buen concreto es hablar de un concreto apropiado para los propósitos que se le pretenden dar, y para cumplir con el periodo de vida esperada durante el cual permanecerá en servicio, lo cual, tiene que ver mucho con la durabilidad del material. Así pues, debemos considerar que toda estructura deberá mantener siempre el cumplimiento de las funciones de resistencia, funcionalidad, etc. para las cuales ha sido destinada, y en las condiciones para las que se espera que la estructura este expuesta.

La expectativa de vida de una estructura varía dependiendo del tipo de estructura construida, por ejemplo no es lo mismo una bodega, que unos almacenes, o edificios industriales, o casas privadas u oficinas, etc.

El punto es, que nosotros tenemos los conocimientos adecuados para diseñar mezclas para cumplir con estas características y generalmente no lo hacemos.

Sabemos por los resultados de las investigaciones, que dependiendo de las condiciones de exposición, el material puede tener otro tipo de materiales constitutivos que le permitan obtener esas características muy particulares. Se ha demostrado que el concreto elaborado únicamente con cemento Portland es apropiado para un número limitado de usos, pero, la utilización de todos estos materiales

nuevos desarrollados recientemente, dará como resultado que el concreto continúe utilizándose sin temor a una competencia seria.

En términos comerciales, está en las manos de los profesionistas y constructores el producir más metros cúbicos de buen concreto.

El hacer buen concreto involucra tanto los materiales constitutivos como son los materiales cementantes, aditivos, agregados; así como los procedimientos de su fabricación: Transportación, Mezclado, colocación, compactación, curado, etc. Hay que mencionar que debido a que el concreto es un material que se elabora con los conocimientos básicos y sin la necesidad de una gran y costosa investigación, podría considerarse un material de baja tecnología, con frecuencia lo es, pero podemos hacer del concreto un material de alta tecnología con solo hacer lo mejor y trabajando adecuadamente, basándonos en los factores que lo influyen en sus propiedades cuando pertenece a estructuras reales. Para hacer buen concreto no hay que separar la resistencia de la durabilidad.

¿Quién debería estar bien informado para hacer buen concreto?

En el pasado los grandes diseñadores, arquitectos e ingenieros eran expertos en el análisis estructural y en los materiales que utilizaban:

Eduardo Torroja-España
Hubert Rüsche-Alemania
Robert Philileo- Estados Unidos
Sir William Glanville- Inglaterra
Luigi Nervi- Italia
Eugene Freyssinet-Francia

Los arquitectos enlazaban sus conocimientos de la forma estructural, con un conocimiento de las propiedades de los materiales involucrados. Pero, en la actualidad se le da mucha importancia al uso de computadoras, al análisis estructural y otras disciplinas; y se ha relegado el conocimiento de los materiales a puntos de

insignificancia, cuando debemos recordar que la práctica de la arquitectura sin materiales simplemente no existiría, la arquitectura se construye con materiales. El problema radica en que al diseñar se buscan valores arbitrarios para las propiedades físicas y mecánicas, que pueden ser o no satisfechos por el concreto real, cuando la estructura está siendo construida.

La contradicción es que se tienen diseñadores con falta de conocimientos de materiales y técnicos del concreto con falta de conocimientos estructurales y de construcción.

Lo importante es evitar especificaciones que no se pueden cumplir en la práctica y que dan pie al encarecimiento de la obra.

Nuevos materiales y productos del concreto hacia el futuro

Qué piensan los hombres más conocedores de este campo, como definen los investigadores a estos materiales, como se estudian y se utilizan en la investigación.

En la época actual, la infraestructura de concreto experimenta altos grados de deterioro en una mayor rapidez de la esperada; y esto puede explicarse por la exposición de las estructuras a los ambientes químicos y a los agentes externos agresivos. Tales estructuras incluyen a los edificios arquitectónicos, puentes, pavimentos, pilotes marinos, ductos, plataformas marinas, y estructuras para el confinamiento de desperdicios sólidos y líquidos de materiales altamente corrosivos entre otras.

Una respuesta a estos problemas ha sido el desarrollo de concretos especiales y de alto comportamiento, este último material tiene proporcionamiento de mezcla diseñado para obtener alta resistencia y alta durabilidad. Todo esto se logra con proporcionamientos de mezcla adecuados, materiales constituyentes de alta calidad, aditivos minerales y aditivos químicos.

Para producir estos concretos de alto comportamiento se hace necesaria una muy densa y homogénea microestructura en el concreto, especialmente en la interface entre la pasta de cemento hidratada y los agregados. El uso de aditivos minerales es necesario porque estos se necesitan para propiciar la densificación y homogeneidad en la región de interfase.

El obtener concretos impermeables a los agentes agresivos, resistentes y durables bajo condiciones agresivas de ambientes químicos y condiciones complejas de aplicación, tiene que ver con los avances en la producción de nuevos materiales constitutivos del concreto, avances en el estudio de la microestructura de materiales de base-cementante, avances en las pruebas para concreto, y los avances más recientes en los diferentes tipos de materiales de base-cementante como son el concreto de alta resistencia, el concreto de alto comportamiento, el concreto de alta durabilidad, concreto de alta calidad, concreto compactado con rodillos, concreto con alto volumen de ceniza volante, concreto reforzado con fibras y materiales de baja resistencia controlada.

Concreto y los Materiales que lo constituyen

Material cementante

Como ya hemos dicho en otro capítulo:

El cemento Portland es definido por la ASTM C 150 como "Un cemento hidráulico producido por la pulverización de clinker, formado esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos, que generalmente contiene una o más de las formas de sulfatos de calcio como componentes adicionales". El Cemento Portland es verdaderamente hidráulico, por lo tanto, requiere solamente la presencia de agua para desarrollar incrementos en sus propiedades de resistencia.

El Cemento Portland esta compuesto principalmente de óxidos de calcio y sílice junto con óxidos ferrósos y aluminosos.

Pequeñas cantidades de otros óxidos tales como: óxido de magnesio, óxido de titanio, y trióxidos de sulfuro también están presentes. Estos óxidos se presentan en forma de compuestos tales como silicatos tricálcicos(C3S), silicatos dicálcicos(C2S), aluminatos tricálcicos(C3A), y aluminoferratos tetracálcicos(C4AF).

El cemento es un agente aglutinante que es utilizado para pegar los agregados gruesos y la arena para producir concreto. El consumo de cemento Portland en el mundo se da en grandes cantidades; un ejemplo serían 90 millones de toneladas en Estados Unidos de Norteamérica, anualmente. La producción de cemento Portland requiere del uso de una gran cantidad de energía, aproximadamente 3000 KJ de energía por Kg de cemento (Schmidt 1993). Grandes cantidades de combustibles fósiles son quemados para obtener los niveles de energía requeridos en la producción del cemento Portland.

La combustión de estos combustibles fósiles tiene como consecuencia la emisión de partículas y gases contaminantes tales como: SOx (sulfatos), NOx(nitratos), etc. Ambos nitratos y sulfatos contribuyen a la formación de la lluvia ácida cuando se hidrolizan en la atmósfera. Además la combustión de combustibles fósiles contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero, especialmente CO2 bióxido de carbono; los cuales también son producto de la utilización del tricarbonato cálcico(CaCO3) como un ingrediente en la producción del cemento, el cual es transformado en Óxido de calcio(CaO) y CO2 Bióxido de carbono.

Se ha estimado que una tonelada de bióxido de carbono es producida por cada tonelada de cemento Portland.

Ahora bien, gracias a los adelantos en este campo, la utilización de materiales de productos industriales de desecho en la producción de materiales cementantes no solo permite grandes ahorros de energía, y beneficios ecológicos y económicos, sino que también beneficios técnicos, tales como:

incremento en la resistencia, aumento de la trabajabilidad, reducción del calor de hidratación, disminución de la permeabilidad, incremento de durabilidad ante el congelamiento y el deshielo, incremento en la resistencia a los ataques químicos, etc.

Generalmente los cementos compuestos son fabricados utilizando cemento Portland y materiales suplementarios como las escorias de alto horno, ceniza volante, humo de sílice, y puzolanas naturales. Durante la hidratación del cemento, Ca(OH)2 es producido, pero cuando un sistema ternario es utilizado(EAH,CV,CP), inicialmente el Ca(CO)2 es consumido primero por las escorias de alto horno más reactivas y después por las cenizas volantes; así el porcentaje de reacción puzolánica es más bajo que el del sistema Cemento Portland-Ceniza volante(Mehta, 1994a). por lo tanto, este sistema es más recomendable cuando bajo calor de hidratación es requerido, como en las construcciones con concreto masivo. Existen reportes que indican que el uso de mezclas de concreto con sistemas de cemento ternarios y cuaternarios muestran menores porcentajes de calor de hidratación comparado con las mezclas controladas que solo contenían cemento Portland.

En 1994 Dadidovits reportó el desarrollo de cementos alcalinos que no contenían cemento Portland. Estos cementos exhiben porcentajes altos de fraguado y de endurecimiento.

Guisani y Malhotra(Canadá 1995) desarrollaron un cemento compuesto a base de ceniza volante, clinker ASTM tipo I(Portland) y un superplastificante a base de naftaleno.

Recientemente, Tarun Naik (1995) dirigió una investigación de laboratorio para desarrollar cementos combinados de bajo costo y de alto comportamiento. Se utilizaron cemento Portland, seis aditivos y dos compuestos químicos.

Basados en el comportamiento, los cementos compuestos desarrollados en esta

investigación se clasificaron en 6 diferentes grupos:

Grupo

- 1. Resistencia baja a temprana edad, resistencia baja en la madurez y de alta economía
- 2. Resistencia baja a temprana edad, y resistencia equivalente (cemento portland) en la madurez
- 3. Resistencia baja a temprana edad y alta resistencia en la madurez
- 4. Resistencia equivalente a temprana edad y resistencia equivalente en la madurez
- 5. Resistencia equivalente en la madurez y alta resistencia en la madurez
- 6. Alta resistencia a temprana edad y resistencia equivalente en la madurez

Materiales puzolánicos

Una puzolana es un material silico o silico aluminoso que posee poco o ningún valor cementante, pero en formas finamente divididas y el la presencia de humedad, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas normales para formar compuestos con propiedades cementantes.

Las puzolanas existen en forma natural y en elaboradas por el hombre. La ceniza volcánica es la forma más común de puzolana natural.

Las puzolanas más efectivas utilizadas en investigación son incluyen cenizas volantes de carbón, escoria de alto horno, humo de sílice y otras cenizas combustibles.

Cuando se utilizan material puzolánico y cemento portland combinados se incrementan la resistencia y la durabilidad del concreto, haciéndolo más denso y permeable. También se pueden agregar cantidades pequeñas de compuestos químicos para mejorar el comportamiento de estos cementos compuestos. Los más utilizados son:

- Hidróxido de calcio
- Hidróxido de sodio
- Sulfato de sodio

- Sulfato de calcio
- Cloruro de calcio
- Carbonato sódico
- Silicato sódico

Las puzolanas naturales

Son cenizas producto de la actividad volcánica, la composición química de sus óxidos es similar a la de las cenizas volantes de carbón, pero a pesar de ello contiene mayores cantidades de partículas cristalizadas no reactivas que las cantidades de partículas vidriadas que sí son reactivas. Por lo que son menos efectivas en materiales de base-cemento que otros tipos de puzolanas.

Ceniza volante

Es producto de la combustión del carbón. Son removidas de los gases de combustión por instrumentos recolectores de partículas tales como los separadores ciclón, presipitadores electrostáticos, filtros de tela, etc. Las partículas de las cenizas volantes son generalmente esféricas forma en un tamaño de 1 a 150 micras y una gravedad específica de entre 2.1 y 2.8, están compuestas principalmente de óxidos de silicio, aluminio, fierro, calcio y magnesio.

Las cenizas volantes han sido clasificadas por la ASTM C 618 Como:

- Clase N. Puzolanas naturales calcinadas
- Clase F: Producto de la combustión de atracita o carbón bituminoso, tienen propiedades puzolánicas
- Clase C. Se obtienen de la combustión de lignita o de carbón subbituminoso, continen limo en un porcentaje mayor al 10%. Contienen propiedades cementantes y puzolánicas

Las cenizas volantes clase F y C son utilizadas en materiales de base-cemento avanzados como puzolanas.

En experimentación se ha observado que la reacción puzolánica de la ceniza produce

hidratos de silicato de calcio de forma similar a como los produce la hidratación del cemento Portland, recordando que esta reacción es la que contribuye al endurecimiento del concreto. por lo tanto, es posible substituir parte del cemento Portland requerido por cenizas volantes para determinadas necesidades de resistencia. El alto contenido de calcio en las cenizas volantes clase C permite mayores porcentajes de substitución de cemento Portland.

Ha sido establecido por el Doctor Tarun Naik que la correcta aceptación de ceniza tipo C en concretos de grado estructural es del 30 al 40% del material total cementante. El Dr. Naik y el Dr. Ramme han utilizado hasta 70% en material cementante para mezclas de concreto para carreteras.

Se han hecho estudios (Aimin y Sarkar) para investigar la influencia del sulfato de calcio en cementos Portland con contenido de cenizas volantes. Los materiales obtenidos presentan menor resistencia que la obtenida con muestra de control de cemento Portland. Sin embargo las cenizas volantes beneficiadas con sulfato de calcio o las cenizas volantes superfinas son altamente reactivas y muestran mejor comportamiento que el humo de sílice.

Humo de sílice condensado

Son productos de desecho de aleaciones de ferro-silicón o de silicón metálico, el cual es obtenido de los compuestos minerales a base de silicones, procesando los gases por oxidación.

Están compuestos de partículas superfinas de forma esférica con tamaño del orden de una micra.

El humo de sílice contiene óxido de silicio en un 90%. Debido a su finura y gran reactividad, el humo de sílice es una puzolana muy activa, haciéndola un material ideal para substituir al cemento Portland en concretos de Alta resistencia y de Alto comportamiento. Aumenta la densidad de la microestructura del concreto, teniendo como resultado altas resistencias. Sin embargo el área de la superficie específica incrementa la demanda de agua en grandes

cantidades. Los contenidos óptimos de humo de sílice en un material cementante varia de un 5 a un 10% del total. Lo ideal es la utilización de humo de sílice con otras puzolanas.

Debido a la poca producción de este material su costo es relativamente alto, por lo que se utiliza principalmente en la elaboración de concretos de alta-calidad, alta-durabilidad, alta resistencia, o de alto comportamiento.

Escoria de alto horno

Es el producto de la fabricación de fierro crudo como producto remanente del alto horno. la escoria puede ser enfriada lentamente para obtener una forma cristalizada no reactiva o enfriarse en un proceso rápido para obtener un producto reactivo de forma granulosa vidriada. La escoria granulada posee compuestos químicos similares a los del cemento Portland y cuando es pulverizada presenta sus propiedades hidráulicas latentes.

Este material se produce en forma de pequeñas partículas granuladas, similares al agregado fino, estas partículas son deshidratadas, secadas y molidas en un proceso similar a la molienda del clinker del cemento Portland. La escoria es menos reactiva que el cemento Portland y es por esto que se muele a mayores finuras para incrementar su reactividad. Su gravedad específica es similar a la del cemento Portland y sus propiedades hidráulicas latentes lo hacen un material ideal para substituir al cemento Portland, aunque se recomienda que se utilice combinada con este último, o con activadores alcalinos (sulfato de sodio, sulfato aluminoso de potasio o cementos de aluminato de calcio) para ganar suficiente resistencia en aplicaciones estructurales.

En las investigaciones los morteros que contienen 30% de escoria, 70% de cemento Portland y varios activadores químicos resultaron con resistencias a la compresión superiores a las de un mortero de cemento portland. En general los estudios han revelado que el uso de estos materiales eleva grandemente la resistencia a edades maduras mas no así en edades tempranas.

Ceniza de cáscara de arroz

Son producto de la combustión controlada de las cáscaras de arroz. Estas cenizas son puzolanas altamente activas. En ocasiones ha sido llamada una superpuzolana y en materiales a base de cementos el efecto de estas cenizas es similar al del humo de sílice.

Su color puede ser, gris, púrpura o blanco dependiendo de las condiciones de la combustión y de las impurezas presentadas. El tamaño de sus partículas oscila entre 10 y 75 micras. La cascara de arroz completamente quemada contiene de un 90 a un 95% de sílice no cristalizado.

A diferencia de los demás compuestos puzolánicos, la ceniza de cascara de arroz posee extraordinarias cualidades para contribuir al desarrollo de altas resistencias a edades tempranas en los primeros tres días después de la fabricación del concreto. Sus propiedades la hacen un material factible en la elaboración de concretos de alta resistencia y otros productos de base cementante avanzados.

Metakaolín

Se produce utilizando arcillas calcinadas bajo temperaturas controladas (700-900 grados centígrados). Este material es análogo a otras puzolanas y consume hidróxido de calcio producido durante la hidratación del cemento Portland para crear la goma cementante de hidratos de silicato de calcio.

En las investigaciones recientes se ha comprobado que la inclusión de un 20% de metakaolín en el cemento Portland propicia el aprovechamiento de más hidróxido de calcio producido durante la hidratación del cemento, propiciando una muy densa microestructura en la región de interfase.

Se utiliza en la producción de cementantes combinados de alto contenido de álcalis, los cuales presentan rápido fraguado y endurecimiento de la mezcla con altas resistencias a la compresión después de 4 horas.

Agregados

Como sabemos los agregados se clasifican de acuerdo a su tamaño (agregado grueso, agregado fino), a su densidad volumétrica (ligeros, normales, pesados), o al tipo de material del que provienen.

En las investigaciones actuales (Mehta y Aitcin) se ha reportado que para obtener muy altos niveles de resistencia en el concreto de alto comportamiento, el tamaño del agregado grueso deberá ser igual o menor a 10-12mm. También Dr. Tarun Naik ha obtenido resistencias a la compresión altas utilizando agregados gruesos de 19mm de tamaño máximo.

Muchas de las propiedades de los materiales a base de cementos tales como: peso unitario, módulo elástico, y estabilidad dimensional, están determinadas también por las propiedades de los agregados, especialmente el agregado grueso (Mehta 1993). Estas propiedades de los agregados están influenciadas a su vez por la densidad volumétrica y por la resistencia de los mismos, las cuales a su vez dependen de las propiedades físicas (juegan un papel más importante en la influencia en las propiedades del concreto y son la forma, tamaño y textura) y químicas de los agregados.

Los agregados obtenidos mediante la trituración de las rocas contienen cantidades importantes de partículas planas y alargadas, por el contrario la grava natural contiene formas más redondeadas y superficies de textura suave. Se considera que los agregados alargados afectan negativamente a las propiedades del producto final, ya que hay una mayor tendencia a acumular una película de agua en las vecindades de los agregados. Como resultado la región de interfase se vuelve más porosa cuando el agua se evapora y la resistencia de esta interfase disminuye provocando un punto débil en el concreto que permite la propagación de las fracturas al aplicar las cargas.

La investigación ha permitido la elaboración de agregados artificiales como los hechos de

arcilla o cenizas volantes, se realiza un proceso para redondear las partículas, involucrando otros procesos de sinterización y altas temperaturas.

Recientemente se ha desarrollado tecnología para la producción de agregados ligeros a base de cenizas volantes, pulpa de papel y desechos del drenaje industrial, en diferentes combinaciones.

Tecnologías de sinterización y de fusión son utilizadas en la producción de agregados ligeros utilizando ceniza volante y otros productos de desecho en los Estados Unidos y en otros países del mundo. Estos procesos combinan los materiales antes mencionados como son: arcilla, pulpa de papel, desechos industriales varios, etc., para después redondearlos en esferas de entre 9.5 y 19 mm de diámetro, las cuales se colocan en una secadora y después se sinterizan en procesos con temperaturas mayores a los 100 grados centígrados, los agregados resultantes son enfriados y cribas al tamaño deseado.

Aditivos

Reductores de agua.

Los reductores de agua normales y los reductores de agua de alto rango también conocidos como superplastificantes utilizados para incrementar la trabajabilidad de la mezcla o para reducir la cantidad de agua para una trabajabilidad dada, siguen siendo estudiados ya que un exceso en su utilización de los reductores de agua normales puede provocar un retraso del fraguado mayor a lo esperado y además la inclusión de aire, por el contrario los superplastificantes pueden ser utilizados en mayores cantidades sin causar estos efectos.

Los superplastificantes son compuestos de polímeros sintéticos solubles al agua:

Formaldehído de melamina sulfonada

Formaldehído de naftalina sulfonada(condensado)

Actualmente se han desarrollado superplastificantes a base de lignosulfatos debido a su bajo costo y a que su comportamiento es similar al de los anteriores, sin embargo estos pueden introducir problemas

de inclusión de aire, espuma y cambios en los tiempos de fraguado cuando se utilizan cantidades exageradas; también se han producido superplastificantes a base de un copolímero de éster acrílico carboxilado para controlar mejor el asentamiento de la mezcla.

Algunos otros superplastificantes se han desarrollado últimamente por Ramachandran y por Collepardi para controlar la trabajabilidad del concreto por un periodo mayor.

A pesar de ello el comportamiento de los nuevos plastificantes en el concreto bajo condiciones varias esta todavía por establecerse.

Aceleradores de fraguado

por lo general se utilizan en clima frío y por mucho tiempo se ha utilizado el cloruro de calcio para acelerar la hidratación temprana del cemento, lo cual no es recomendable debido a la presencia de iones-cloruro que resultan corrosivos para el acero de refuerzo en un concreto.

Ahora se han desarrollado aditivos aceleradores de fraguado sin cloruro y utilizando en su lugar tiocianatos, tiosulfatos, nitritos, aluminatos, etc. Adicionalmente compuestos como la trietanolamina han sido utilizados y los efectos de estos aditivos están todavía por determinarse, sobre todo en concretos a edades maduras, se sabe que a edades tempranas el concreto adquiere altas resistencias, pero a edades maduras estas son más bajas.

Anticongelantes

Son una clase especial de aceleradores y se utilizan para deprimir el punto de congelamiento del agua en el concreto hasta en treinta grados centígrados. Muchos de ellos pueden ser utilizados en pequeñas dosis para deprimir el punto de congelamiento del agua en 1.5 grados centígrados y son de utilidad en la fabricación de elementos prefabricados, parchado y reparación, trabajos de cimentación, etc. Su utilización incrementa la plasticidad cohesiva.

Los anticongelantes actúan de dos diferentes maneras:

1. Para deprimir el punto de congelamiento de la mezcla de concreto y servir como aceleradores débiles o retardantes, los aditivos con estas funciones incluyen:

- nitrito de sodio
- cloruro de sodio
- electrolitos débiles
- alcoholes de alto peso molecular

2. Acelerar el fraguado y el endurecimiento con buena capacidad de anticongelamiento, utilizando:

- cloruro de calcio
- cloruro de sodio
- nitrito de sodio
- nitrito de calcio
- urea

La compatibilidad de estos compuestos con otros aditivos y sus efectos en las propiedades del concreto todavía se están estudiando para su utilización a mayor escala.

Inclusores de aire

Los agentes inclusores de aire normalmente utilizados para adecuar la resistencia del concreto al congelamiento y al deshielo, presentan problemas de encontrar las dosis adecuadas debido a factores como son las propiedades del material, uso de puzolanas, mezclado, colocación, temperatura, etc. Es por esto que nuevos aditivos inclusores de aire han sido desarrollados que pueden evitar los efectos negativos de estos factores.

Un aditivo de micro-aire ha sido desarrollado, este compuesto provee burbujas ultraestables muy pequeñas y con separaciones mínimas. Están hechos con ácidos grasos, sales de ácido sulfónico y agentes estabilizadores. Se utiliza en concretos de cenizas volantes con altos contenidos de carbón sin quemar y en concretos con cemento a base de álcalis.

Nuevas investigaciones han involucrado la utilización de micro esferas plásticas, y con esta técnica se permitirá proveer la inclusión de aire de manera más controlable. Sin embargo este nuevo método es más costoso que los tradicionales.

Inhibidores de la reacción álcali-agregado

Para este propósito generalmente se han utilizado aditivos puzolánicos y aditivos químicos a base de sal de litio, bario, sulfato de sodio, sulfato de cobre, y otros.

Las investigaciones han revelado que es posible reducir la expansión del concreto con la inclusión de litio y cloruro férrico. Sin embargo las recomendaciones para estos aditivos en relación a óptimas adiciones no se pueden dar en la actualidad debido a que la información al respecto es muy limitada.

Inhibidores de la corrosión

Se utilizan para prevenir reacciones agresivas al acero de refuerzo y por lo general están formados de :

- Inhibidores anódicos. Nitrato de sodio y de calcio, benzoato de sodio y cromato de sodio
- Inhibidores catódicos. Hidróxido de sodio o de amoníaco y carbonato de sodio
- Inhibidores anódicos y catódicos. Nitrato de calcio

Se están haciendo progresos en las investigaciones para desarrollar compuestos que sirvan como aceleradores y como inhibidores de la corrosión.

Aditivos antilavado

Los avances recientes han permitido el desarrollo de aditivos para incrementar la cohesión en mezclas de concreto. Al incrementarse la cohesividad se permite la colocación del concreto bajo el agua con muy poca pérdida de materiales cementantes. Están formados de éteres celulósicos solubles al agua y de polímeros acrílicos solubles al agua.

Prolongadores del fraguado

Grandes cantidades de concretos sobrantes son depositados en los tiraderos al final de un día de producción; debido al incremento en la preocupación por el impacto ambiental, esto es un gran problema para los productores de concreto. Para esto se han desarrollado aditivos que permiten mantener fresco al concreto y ser almacenado para usos posteriores, por medio de cesar la hidratación de las partículas del cementante por horas o

días, para después ser reactivada con un compuesto activador.

Materiales compuestos a base de cementantes, propiedades y aplicaciones
 Como consecuencia de las investigaciones y de las necesidades que se han presentado y que se presentaran en relación a las estructuras de concreto y aprovechando todos los materiales anteriormente descritos se han desarrollado nuevos materiales compuestos a base de cementantes, los más populares son:

Concreto de alta resistencia

Es llamado concreto de alta resistencia a aquel que tiene una resistencia a la compresión mayor a 42 megapascuales. Las investigaciones experimentales ha demostrado que la microestructura de este material es substancialmente diferente de las microestructuras presentadas por los concretos convencionales (de 20 a 40 Megapascuales). Un control de calidad más estricto en relación a la selección de los materiales constituyentes tales como superplastificantes, aditivos minerales, tipo y tamaño de los agregados, etc., es necesario para la fabricación de este material.

Concreto de alta resistencia con una relación agua-cemento de .35 a .40 puede ser fabricado por concretos convencionales para fabricación de concreto utilizando superplastificantes, con o sin aditivos minerales. Generalmente las proporciones de mezcla de estos concretos requiere minimizar la relación agua cemento para producir alta resistencia.

La problemática es que numerosas estructuras hechas con estos concretos en Estados Unidos y en otros países del mundo están sufriendo rápido deterioro, sobre todo en ambientes agresivos. Los métodos convencionales de selección de materiales constituyentes y proporciones de mezcla no garantizan durabilidad a largo plazo. Los métodos tradicionales de selección de los materiales constituyentes y de proporciones de mezclas no garantizan la durabilidad a largo

plazo. Cuando se requiere de durabilidad a largo plazo, una clase especial de material compuesto a base de cementantes es necesaria. Tal material es llamado concreto de alto comportamiento, el cual posee propiedades de alta resistencia y alta durabilidad.

Concreto de alto comportamiento

Las proporciones de las mezclas para concretos de alto comportamiento dependen de las aplicaciones individuales del material. Las cualidades potenciales generales del concreto de alto comportamiento son las siguientes:

Resistencia a la abrasión, manejabilidad, protección a la corrosión, resistencia a los agentes químicos, ductilidad, durabilidad, absorción de energía, resistencia al fuego, alta resistencia a la compresión, alta resistencia a edades tempranas, alto módulo de elasticidad, alto módulo de ruptura, alta resistencia a la tensión, trabajabilidad y cohesividad altas, alto radio de densidad de resistencia (concreto de peso ligero), baja permeabilidad, resistencia al lavado, estabilidad volumétrica. Las mezclas para estos concretos son proporcionadas para obtener un concreto con microestructura densa, especialmente en la región de interfase entre los agregados y la pasta. Una microestructura densa puede obtenerse a través de la selección de materiales constituyentes de alta calidad y novedosos proporcionamientos de mezclas. Una mezcla típica de concreto de alto comportamiento deberá consistir de agregados de alta calidad (tamaño pequeño, con graduaciones muy cercanas, alta resistencia), cemento de bajo calor de hidratación, aditivos puzolánicos (ceniza volante, escoria, puzolanas naturales, ceniza de cascara de arroz, humo de sílice), y aditivos químicos. Las recientes investigaciones han reportado el desarrollo de mezclas de concreto en el orden de tener propiedades de alta resistencia y alta durabilidad. Algunos investigadores han recomendado que para niveles de resistencia muy altos en el concreto de alto comportamiento (100 megapascuales o más), el

tamaño del agregado grueso deberá ser no mayor de 10-12 mm, y otros han reportado el desarrollo de resistencia de más de 100 megapascales con la incorporación de agregado grueso en un tamaño máximo de entre 12-20 mm. también se han desarrollado mezclas para concreto de bajo costo al incorporar grandes cantidades de mezclas minerales de bajo costo tales como la ceniza volante clase C y ceniza volante clase F, ceniza de carbón limpio, ceniza blanda, humo de sílice, y superplastificantes. La fabricación del concreto de alto comportamiento, requiere especial cuidado en la mezcla, manejo, colocación, terminación, etc. Y son necesarios controles de alta calidad en la selección de los materiales, producción y pruebas para estos concretos.

Concretos compactados con rodillos

Son substancialmente diferentes de aquellos concretos masivos convencionales utilizados en las presas. Su consistencia es mas rígida que la de un concreto masivo convencional (casi seco, similar al concreto de cenizas). El requerimiento granulométrico de los agregados es más flexible que aquel para concretos masivos convencionales, se pueden utilizar agregados que no cumplen con los requerimientos de granulometría normales.

Están definidos por la ACI como concretos que tienen una consistencia que les permite ser compactados con un rodillo vibratorio. Generalmente la mezcla es un proceso continuo y son transportados en camionetas o camiones. Es colocado en capas por un bulldozer y compactado con un rodillo vibrador. Una mezcla fresca puede tener apariencia similar a la de la grava utilizada como base en construcción de caminos. después que ha sido colocado y una vez que ha endurecido, la apariencia del material es la misma que la del concreto masivo convencional.

Generalmente el cemento portland con y sin cenizas volantes o puzolanas naturales es utilizado como cementante. Debido a los bajos contenidos de cemento en estos concretos son utilizadas arenas naturales y polvo de roca como rellenos para incrementar el volumen de

la pasta. Las proporciones de mezcla para estos concretos dependen del diseño ala tensión, conceptos de control de agrietamientos, experiencia, equipo disponible y programas de obra. Las mezclas de concretos compactados con rodillos se clasifican en tres tipos:

Clase 1. Mezclas con alta resistencia y agregados limpios (17-30 megapascales)

Clase 2. Mezclas con resistencias medias (10-20 megapascales)

Clase 3. Mezclas de baja resistencia (5-15 megapascales) y agregados finos naturales

En la actualidad los concretos compactados con rodillos son utilizados en la construcción de presas en muchas partes del mundo, las presas que han utilizado estos concretos en la presa Willow Creel en USA y la presa Shimajagawa en Japón, entre otras.

Concreto de ceniza volante de alto volumen

Este término generalmente se refiere a concretos que incorporan cenizas volantes en cantidades mayores al 40% del material cementante total. Recientes investigaciones han permitido el desarrollo de concretos de este tipo con porcentajes de ceniza entre el 50 y el 60% del total del material cementante. Estos concretos han desarrollado niveles altos de resistencia cuando a través del uso de aditivos superplastificantes se mantienen relaciones agua-cemento bajas. Las mezclas típicas para estos concretos están constituidas por los siguientes porcentajes:

Cemento-- 150 kgs/m³

Ceniza volante clase F--210 kgs/m³

Agua--115 kgs/m³

Agregado grueso(19mm)--1275 kgs/m³

Agregado fino--620kgs/m³

Aditivos inclusores de aire--720mililitros /m³

Superplastificante -- 4lts/m³

Este concreto ha mostrado buena resistencia y durabilidad relativas, excepto para desgaste por salinidad.

Las demás propiedades son similares o mejores a las del concreto a base de cemento

Portland. Las ceniza volante en el concreto permite mejores resultados en relación a la trabajabilidad de la mezcla, calor de hidratación y permeabilidad.

Otros investigadores han hecho sus aportaciones en este campo, en concretos con alto volumen de cenizas volantes, con resistencias de hasta 35 megapascales. Los resultados mostraron que después de 7 días, el concreto con contenido de cenizas volantes mayor al 60% desarrolla resistencias a la compresión mayores que un concreto sin cenizas volantes. Concretos con contenido del 40% de cenizas volantes clase C ha mostrado buena resistencia a desgaste por salinidad.

Concreto reforzado con fibras

Fibras en cantidades moderadas (menores al 2% por volumen de concreto) son utilizadas para incrementar la capacidad de resistencia a la tensión de los concretos y materiales a base de cementantes. Tradicionalmente las varillas de refuerzo son utilizadas para incrementar la capacidad de resistencia a la tensión de elementos estructurales de concreto, pero estos refuerzos no incrementan las propiedades de la matriz del concreto para prevenir micro y macro agrietamientos durante el fraguado y el endurecimiento de la mezcla; por lo que el concreto reforzado tiende a presentar un comportamiento débil ante las tensiones. Las fibras son costas y discontinuas y son distribuidas en la matriz del concreto para incrementar sus propiedades de resistencia a la tensión. El total de la energía absorbida (tenacidad) es al menos 10 a 40 veces mayor en un concreto reforzado con fibras que en un concreto sin ellas.

La magnitud de la tenacidad depende de factores tales como: propiedades de la fibra, concentración, relación largo-diámetro de la fibra, forma, y textura de la superficie de la fibra. Varios tipos de fibras que pueden ser utilizadas en materiales compuestos de base cementante incluyen materiales acrílicos, asbestos, algodón, vidrio, nylon, poliéster, polietileno, polipropileno, rayón, acero y lana-piedra.

Las fibras de carbón (en mm) utilizadas en concreto reforzado con fibras tiende a incrementar la capacidad de soportar esfuerzos tensionantes (estiramiento), pero no la resistencia a la tensión en deformaciones considerables. Esto se debe primeramente a su capacidad de controlar solamente macrofracturas localizadas, dejando las microfracturas propagarse libremente durante la acción de la carga. Las fibras muy finas pueden suprimir la propagación de microgrietas, y esto incrementa la resistencia a la tensión y las propiedades de la matriz. Recientemente, se ha desarrollado un proceso de extrusión para fabricar compuestos de base-cemento reforzados con fibras incorporando grandes cantidades de fibras (2 a 8% por volumen de concreto). Con esto se fabrican productos de diferentes formas y tamaños. Los compuestos resultantes muestran resistencia a la tensión y al pandeo comparables con aquellas observadas en fibras continuas.

Materiales de baja resistencia controlada

Son materiales cementantes altamente fluidos que fluyen como un líquido, pero se endurecen y soportan como un sólido y se autonivelan sin compactación.

Algunos nombres dados a estos materiales son: relleno fluido, lodo fabricado, relleno para control de densidad, mortero fluido, etc. Sus usos han sido descritos en párrafos anteriores pero podríamos mencionar que son utilizables en bases para cimentaciones, y como relleno en tanques de almacenamiento, túneles abandonados, vacíos en pavimentos, etc.

Realmente sus aplicaciones son no estructurales ya que su consistencia es la de un betún para pastel. En muchas situaciones estos materiales pueden aportar mejores alternativas en cuanto a costo en relación a los rellenos de apoyo o materiales de relleno estructural, esto se debe al bajo costo de mano de obra y del tiempo requerido para su manejo. En casos en los que no se tendrán futuras excavaciones o que no se requerirán mayores cargas, las mezclas pueden ser

proporcionadas con mayores cantidades de materiales cementantes. Para casos en los que el material servirá de relleno permanente, las mezclas pueden ser proporcionadas para obtener mayores resistencias(hasta de 8 megapascales).

pueden se transportados por medio de sistemas de transporte convencionales y colocados en el lugar de la misma forma que cualquier material similar. Pueden ser colocados tanto en una excavación en seco como bajo el agua. Ofrecen ventajas sobre los materiales de relleno convencionales ya los últimos requieren verificación por medio de pruebas después de cada capa de 300-600mm, las mezclas de materiales de baja resistencia controlada no tienen estos problemas.

Estos materiales proveen mejor soporte para las estructuras y evitarán los daños asociados con los asentamientos de las bases de apoyo y/o los costos por mantenimiento asociados a el renivelado y el re-llenado.

Las investigaciones más recientes en el Centro para el aprovechamiento de productos de desecho (UWM) han revelado que este tipo de mezclas pueden ser proporcionadas con grandes cantidades de productos de desecho industrial tales como: cenizas volantes, cenizas de fondo, arenas, fragmentos de escoria de acero, plásticos y vidrios de desecho, etc.

El uso de estos materiales no solo reducirá los costos de tiraderos de desechos industriales, sino que también reduce los requerimientos de energía y recursos para producir materia prima. La mezcla para estos materiales puede hacerse utilizando cemento, arena, agregado grueso, y varios productos de desecho como reemplazantes del cemento, arena y/o agregados. Investigaciones todavía más recientes han establecido que muchos productos de desecho contenidos en materiales de baja resistencia controlada son ambientalmente amigables.

Las propiedades principales de estos materiales son: fluidez, resistencia, densidad, permeabilidad, compactación, contracción, etc. Muy recientemente se investigaron las propiedades de materiales conteniendo arenas de fundición con resistencias en el rango de .35 a .60 megapascales. Varias propiedades tales como penetración por aguja, compactación, contracción, permeabilidad, etc., fueron determinadas y se concluyó que materiales de baja resistencia controlada para excavaciones, pueden ser fabricados utilizando arenas de fundición como reemplazantes de las cenizas volantes hasta en un 85%.

Proyectando el futuro del concreto

Debido a que, como hemos explicado anteriormente, las estructuras de concreto armado están presentando manifestaciones patológicas, principalmente con problemas de corrosión de armaduras debida a la despasivación por carbonatación y por iones cloruro, y a que necesitamos diseñar materiales compuestos a base de cementantes que cumplan con propiedades específicas de acuerdo al uso que se le dará a las estructuras que se elaboraran con dichos materiales, la evolución en el estudio de los materiales compuestos a base de cementantes y de las estructuras de concreto, ha permitido mayor conocimiento de los mecanismos para poder proyectar en el futuro, estructuras de concreto mejores, más resistentes y con mayor durabilidad que las que actualmente existen. Algunos campos importantes a considerar son:

Investigación de la microestructura de los sistemas a base de cemento

En un nivel de macroestructural el concreto se compone de dos fases:

Un medio aglutinante llamado matriz de pasta de cemento hidratado y un refuerzo de partículas dispersadas en la matriz a las que llamamos agregados. Pero, en un nivel microscópico es un compuesto híbrido cuyas propiedades varían de lugar en lugar dentro de la macroestructura del concreto debido a las variaciones que se encuentran dentro de su microestructura. En el nivel microscópico el concreto puede ser clasificado en tres fases mayores: Matriz, agregados y región interfásial o zona de transición. Estas tres fases serán tratadas en el futuro como materiales constituyentes.

La fase de transición es más porosa que las demás partes de la estructura del concreto y por consecuencia esta zona se convierte en el punto débil en la microestructura del concreto. Por lo tanto la mayoría de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto se

determinan por las propiedades de la zona interfásial.

Las técnicas utilizadas en las investigaciones de la microestructura del concreto se clasifican en dos categorías:

Técnicas de observación directa

Microscopía óptica, microscopía electrónica, incluyendo microscopía de escaneo electrónico y microscopía de transmisión de electrones

Técnicas de interpretación indirecta

Porosimetría mercurial, análisis de difracción de rayos X, y métodos térmicos tales como análisis térmico diferencial, termogravimetría, y termogravimetría diferencial.

En relación a la microestructura de la pasta de cemento hidratado y de la microestructura del concreto se están desarrollando nuevas investigaciones ya que algunos aspectos del deterioro del concreto tienen que ver con causas físicas y químicas en la microestructura del material.

Las líneas de investigación que se basan en un conocimiento profundo de la microestructura de los materiales, para optimizar sus características y propiedades permiten aportar soluciones innovadoras en las siguientes áreas:

- La demanda actual de sector industrial, que tiene también en cuenta las directrices medioambientales, incorporando materiales residuales de procedencias diversas.
- Garantizar el empleo, las propiedades de los materiales y asegurar la calidad, a través de las investigaciones sobre la durabilidad de los materiales en distintos ambientes agresivos.
- La incorporación de subproductos industriales de impacto medioambiental para su reciclado en materiales de construcción.

- El cálculo y la extensión de la vida útil de los materiales para optimizar su durabilidad, mediante el uso de métodos de protección adicionales y de prevención de daños.
- El mantenimiento de obras del pasado, próximo lejano, bien con la investigación de materiales y morteros antiguos, o bien actuando de modo directo sobre la conservación del Patrimonio Histórico.
- El desarrollo de nuevos materiales, como los concretos de altos comportamientos, concretos con fibras y materiales de reparación con propiedades específicas.

Pruebas al concreto

Las prácticas convencionales de pruebas destructivas y no destructivas al concreto ya han sido descritas y no se discutirán ahora. Más bien se trata sobre los mas recientes métodos utilizados.

pruebas destructivas

Las últimas investigaciones en relación a pruebas de resistencia a la flexión han revelado que existe un límite de fatiga para los concretos con cemento Portland. Los cementos de ceniza volante tipos F y C tienen comportamientos similares a los del concreto con cemento Portland. En estas pruebas los especímenes se someten a cargas cíclicas en un sistema de cargas de tres puntos a 20 ciclos por segundo.

Los materiales de baja resistencia controlada son probados en revenimiento, sangrado, penetración por aguja, resistencia a la compresión, permeabilidad, contracción y compactación.

Los métodos no destructivos se han dividido en dos clases principales:

Medición de las propiedades mecánicas In-situ
Medición de fallas ocultas. Han habido avances substanciales en este tipo de métodos, proveen información muy valiosa para determinar las condiciones de una determinada estructura, estas condiciones

diagnosticadas en base a grietas, pandeos, desgaste, delaminación, etc.

las principales técnicas utilizadas son:

- Termografía infrarroja
- Radar de penetración
- Propagación de ondas de tensión: método ultrasónico, método de impacto, análisis espectral de ondas de superficie.

Técnica de termografía infrarroja

Se utiliza para medir las diferentes temperaturas de la superficie del concreto y otros elementos. Las medidas de temperatura son tomadas a cualquier hora del día o de la noche mientras la transferencia de temperatura tenga lugar. Se basa en los principios termodinámicos que nos dicen que la energía térmica siempre fluye de las áreas calientes a las áreas frías y la transportación de la energía térmica ocurre por conducción, por convección o por radiación.

La energía térmica pasa de la superficie al interior por medios de convección y conducción dentro de la masa. De forma similar, cualquier calor interno deberá ser transferido a la superficie por los mismos medios. El concreto sólido es razonablemente buen conductor de calor y los efectos de convección son disgregables dentro de la masa del concreto. Si el concreto presenta vacíos causados por deterioro, desgaste, mala compactación, los medios de conducción son interrumpidos. Las interrupciones en el flujo de la energía térmica terminan en diferencias de temperatura en la superficie, las cuales pueden detectarse por termografía infrarroja. Durante el día, las anomalías en la superficie causan incrementos localizados en la absorción de calor, de tal forma que la superficie sobre estas áreas está más caliente que las áreas circundantes. Durante la noche las anomalías provocan que la superficie sobre ellas disipe mayor cantidad de calor que las áreas circundantes, así son registradas con menor temperatura.

Se ha descubierto que el espesor de la fractura por deslaminación del material tiene un efecto

significativo en las diferencias de temperatura entre el concreto sólido y el concreto deslaminado.

Una consideración importante es que la diferencia de temperaturas entre las áreas sólidas y las deslaminadas solo es detectada si la fractura por deslaminación esta seca. La termografía infrarroja detecta las radiaciones de temperatura de la superficie de los pavimentos, de las estructuras, o de cualquier otro elemento. La facilidad de una superficie para irradiar energía es afectada por las características físicas de la superficie tales como la rugosidad y el color. La medida de la habilidad para irradiar energía se conoce como emisividad. Un cuerpo perfectamente negro, tiene una emisividad de uno. Esto significa que a cualquier temperatura dada diferente a la temperatura ambiental, se irradia la mayor energía posible. Una investigación muy reciente (Nail et al. 1997) ha sido realizada para revisar la literatura existente sobre las técnicas de termografía infrarroja para evaluar estructuras de concreto. Así se reportó que este método de análisis por termografía infrarroja se puede utilizar para inspeccionar daños en techos y paredes exteriores, asoleamiento deficiente o nulo, construcciones deficientes, filtraciones de aire, y calidad de construcción de los edificios. También puede ser utilizado para evaluar anomalías internas rrucciones subterráneas como drenajes y túneles. Actualmente los análisis por termografía infrarroja están siendo utilizados para evaluaciones rápidas de defectos no superficiales en puentes, carreteras, y pavimentos de aeropuertos para evitar reparaciones costosas. Esta técnica es capaz de medir dimensiones horizontales de defectos no superficiales presentes en las estructuras, trabajando en combinación con un sistema de penetración por radar.

Técnica de penetración por radar

En esta técnica, una antena en la superficie del elemento a analizar emite un pulso de corta duración de ondas electromagnéticas y los pulsos resultantes viajan a través del elemento u objeto. De esta forma el pulso presenta

interferencias debido a la presencia de defectos, y la energía de pulso es reflejada hacia la antena en forma de eco. Generalmente un pulso de alta frecuencia es más recomendable para obtener mejores resoluciones.

La profundidad de la interferencia es determinada al medir el tiempo desde el inicio del pulso hasta la recepción del eco. Los elementos de este sistema son una unidad de control, un instrumento de almacenamiento, y un instrumento de pantalla. Una frecuencia de 1000 megahertz es utilizada para medir puentes y pavimentos. Existe un máximo de profundidad para cada material que puede ser inspeccionado, bajo ciertas condiciones, por el sistema de radar penetración debido a que la disminución del pulso ocurre con la pérdida de energía.

Debido a que los metales son fuertes reflectores de ondas electromagnéticas, el método es muy efectivo en la localización de objetos metálicos, incluyendo varillas de refuerzo y tuberías.

Método del Pulso-eco

En este método, una onda ultrasónica de compresión es aplicada sobre la superficie de un elemento utilizando un transductor electromecánico. El pulso es transmitido a través del elemento y es reflejado cuando encuentra defectos o interfases. La respuesta resultante de las ondas reflejadas o ecos es monitoreada por un receptor. Para el caso del método del pulso-eco verdadero, el transmisor también actúa como receptor. Para el método del picheo-cacheo un segundo transductor es utilizado, en este caso la señal de salida del receptor es proyectada en un osciloscopio. Para una velocidad de onda conocida en un material, la profundidad e la superficie de reflejo puede obtenerse por:

$$D = 1/2 \Delta t C_p$$

Donde D= profundidad de la superficie de reflexión, Δt = tiempo de viaje de ida y vuelta, y C_p = velocidad de la onda de compresión.

Por lo general es difícil producir un sistema de eco-verdadero en el concreto debido a las fronteras de la pasta-agregado, vacíos de aire, y acero de refuerzo que también producen ecos. Sin embargo se ha tenido éxito al aplicar estos sistemas de picheo-caheo ultrasónico en estructuras en la época actual de hasta 300mm de espesor.

Impacto-eco

Este método utiliza impacto mecánico para generar pulsos de compresión. Como resultado, elimina la utilización de transductores de transmisión y los elementos electrónicos asociados. Con este método se genera un gran pulso de energía que tiene gran penetrabilidad. Debido a la aplicación del impacto las ondas de compresión son generadas y propagadas dentro del objeto en forma de frentes de onda esféricos de ondas de compresión y de ondas tijera. Adicionalmente las ondas de superficie se propagan sobre la superficie, alejándose del punto de impacto. Las ondas de compresión y las ondas tijera, son reflejadas cuando encuentran un defecto o los límites externos del elemento. Las ondas reflejadas se desplazan hacia la superficie y son monitoreadas por un transductor receptor y se graban en un osciloscopio. Por medio de medir el tiempo desde el inicio del impacto hasta las llegada de las ondas reflejadas, se determina la profundidad de la superficie de reflejante.

Este método ha tenido mucho éxito en estructuras de concreto delgadas. La mayor aportación de este método ha sido la utilización de un dominio de frecuencia en lugar de un dominio de tiempo para las señales de onda observadas.

Las señales grabadas son transformadas del dominio de tiempo al dominio de frecuencia utilizando la técnica de transformación de Fourier.

La fórmula obtenida para determinar la profundidad es:

$$D=Cp/2f$$

donde f es la frecuencia pico, D es la profundidad y Cp es la velocidad de la onda de compresión.

Este método ha sido muy utilizado en la evaluación de defectos o fallas en el concreto, deslaminación en placas, y vacíos en ductos estrechos. Muy recientemente ha sido utilizado en la evaluación de elementos prismáticos incluyendo columnas y trabes. Una muy novedosa interpretación de los resultados de este método es la que involucra la utilización de la inteligencia artificial, requiriéndose un personal especializado en el programa de computadora para reconocer el espectro de amplitud asociado a las estructuras con o sin defectos.

Análisis espectral de ondas superficiales

Esta técnica involucra análisis espectral de ondas de superficie por medio de un impacto. Un tiempo corto de contacto produce un rango muy amplio de frecuencias. Se utilizan dos receptores para monitorear los movimientos de la superficie debido a las ondas de superficie (ondas R), la señal es procesada para determinar la grueso de las capas inferiores. Este método se utiliza para determinar las propiedades elásticas durante el curado y los vacíos en placas de concreto.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

COMPETITIVO TECNOLÓGICA Y ENERGÉTICAMENTE Y BENEFACTOR ECOLÓGICO

Sabemos que existe un desfase de tiempos en el desarrollo del proceso de industrialización-urbanización en diferentes partes del planeta; si lo resumimos en dos, tendremos que en una parte este desarrollo se inició hace más de 100 años y en la otra después de la Segunda Guerra Mundial. A pesar de ello, sabemos que en el futuro todos demandarán materiales estructurales en cantidades muy grandes.

En las grandes ciudades de los países en desarrollo, la población se está incrementando de forma muy rápida, por lo que ya se previenen programas gigantescos de construcción para áreas metropolitanas. Las necesidades no son sólo a nivel de obra nueva sino también en rehabilitación o sustitución de estructuras ya existentes, se demandarán construcciones de casas, oficinas, carreteras, puentes, puertos, aeropuertos, de instalaciones para agua y manejo de aguas negras, tuberías, tanques de almacenamiento y plantas de tratamiento entre muchas otras. Si consideramos las propiedades actuales del concreto y los avances que ha tenido producto del desarrollo de su tecnología a través de los años (capítulos I, II y III de este trabajo) se podría decir que esto asegura su futuro en estas grandes urbes.

"La tendencia a la urbanización continuará, incluyendo las ciudades satélite. Las estructuras subterráneas y las cimentaciones profundas requerirán grandes volúmenes de construcción de concreto, con énfasis en el diseño para la flexibilidad ante los temblores, el viento y otras fuerzas laterales y accidentales. Los sistemas de tránsito rápido tendrán que ampliarse y otros nuevos tendrán que emprenderse....

Con el progreso del siglo XX, la construcción de concreto se ha convertido crecientemente en el material dominante en la construcción en Norteamérica. Sin embargo el volumen solo no es la única medida de éxito. Es alentador atestiguar su rápida y creciente aceptación, como el material seleccionado para usarse bajo cargas extremas y condiciones severas en las nuevas aplicaciones, más sofisticadas y más exigentes." B.C. Grewick, Jr. *Concr. Int.*, Vol.6, no.2, págs.36-40

Como se ha dicho el incremento de la población urbana ha ocasionado grandes problemas de vivienda, servicios, equipamiento e infraestructura; y esto ocurre en ciudades como México, Calcuta, El Cairo, además de ciudades en Asia y Sudamérica.

Los grandes desarrollos de lujo han cedido el paso a desarrollos con materiales estructurales como el concreto.

Lo importante es que el concreto necesario en los programas de construcción de estos países, será de fácil disposición, pues como hemos analizado anteriormente, los componentes principales del concreto que son el cemento y los agregados (arena, grava y roca triturada) se encuentran en grandes cantidades alrededor de todo el mundo. Si nos referimos al cemento, sabemos que en la mayor parte del mundo encontramos piedra caliza, arcilla y carbón; materias primas importantes en su fabricación. En comparación con el acero si la producción de cemento requiere menor cantidad de energía, la producción del concreto requiere aún menos.

Si analizamos los materiales que compiten con el concreto en la fabricación de estructuras tenemos que la madera en las áreas urbanas representa un costo muy alto.

En relación al acero el concreto tiene ventajas en los aspectos de ahorro de energía, propiedades de ingeniería, factor económico y factor ecológico.

Ingeniería

El concreto es un material de bajo mantenimiento con el tiempo, no se corroe y su resistencia se incrementa con la edad, al contrario de las estructuras de acero que necesitan tratamiento de las superficies, sistemas de protección ante la corrosión, reparaciones y mantenimiento sobre todo en zonas ambientales no favorables.

La resistencia al fuego juega un papel importante en las estructuras modernas y el concreto presenta mejores propiedades ante estos riesgos.

La resistencia a la fatiga en las estructuras de acero se ve afectada por los esfuerzos en las uniones, picaduras por corrosión y cambios en la geometría de la estructura.

La plataformas de concreto presentan mayor amortiguamiento ante las vibraciones y las cargas dinámicas que las plataformas de acero.

Es más fácil controlar las deflexiones en estructuras de concreto gracias a los presforzados. En los elementos de concreto presforzado (debido al alto límite de elasticidad de los cables utilizados) la resistencia a la explosión es más satisfactoria que en elementos estructurales de acero. El concreto tiene un comportamiento dúctil bajo el impacto a temperaturas cercanas a cero. En zonas marítimas árticas las cubiertas y losas de concreto correctamente presforzadas y confinadas con un refuerzo pesado de acero, son adecuadas para resistir el cortante de penetración de los impactos del hielo. °°°B.C. Gerwick, Jr., Proc. Star Symp., Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York.

El concreto presforzado es un material económicamente factible en condiciones ambientales y de temperatura adversas .

Aspectos económicos

El creciente uso del concreto, sobre todo el del concreto de alta resistencia en estructuras de gran altura (Capítulo III), esta justificado en la época actual en que la rapidez de construcción es un elemento importante debido a los factores económicos en las altas inversiones, ya que, entre mejor y más rápido se termine la obra mayor será la recuperación económica. Estos aspectos tomarán mucho más importancia en el futuro debido a las cantidades masivas de elementos estructurales que serán necesarias para cubrir las demandas de las sociedades del mañana que pretenderán grandes obras con materiales de mejor calidad y de menor costo.

Energía

Se ha comprobado por medio de estudios que las estructuras de concreto son más ahorradoras de energía que las estructuras de acero. El contenido de energía del cemento es de 1300 kwh/ton y el del acero es de 8000 kwh/ton. El concreto reforzado contiene de 800 a 3200 kwh/m3.

El concreto contribuye grandemente a la conservación de energía ya sea en cuanto a la energía requerida al resistir una carga, que a la energía necesaria para su fabricación y transporte.

Ecología

En épocas pasadas los criterios para el diseño de estructuras se basaban en los costos y en las propiedades de ingeniería de los materiales, pero actualmente cada vez las propiedades que afectan a la salud humana (humos tóxicos o radiación asociada con la producción y el uso del material) están teniendo más importancia.

Hacia el futuro se tendrán que considerar las propiedades ecológicas de los materiales, así

como los aspectos negativos en este rubro como son la deforestación, el consumo de energía y de agua, la contaminación y los desperdicios que se generan en los procesos de fabricación.

En estudios en los que se han comparado las propiedades ecológicas de materiales como el acero, el vidrio, el ladrillo, la madera y el concreto reforzado, se han obtenido perfiles ecológicos fundamentados en los módulos de elasticidad de los materiales; estos perfiles presentan como resultado que el concreto reforzado es el material más amistoso ecológicamente. Kreijer es quien realizó dichos estudios y nos dice: "Ya que es la gente quien determina como han de usarse los materiales en la sociedad, cada diseñador, al realizar su selección de materiales de construcción, también es responsable de las consecuencias ecológicas y sociales de esa elección.

Con fundamento en apreciaciones ecológicas, económicas y técnicas, el concreto es el receptor ideal de millones de toneladas de subproductos cementantes y puzolánicos (ceniza volante y escoria de altos hornos). Estos productos liberarían metales tóxicos si fueran depositados en corrientes de agua y charcos. Inclusive cuando son utilizados en bases para carreteras y rellenos de tierra son peligrosos para la salud humana ya que se filtran hacia las aguas subterráneas. Al ser utilizados en la producción de cemento y de concreto se presentan como una opción económica de neutralizarlos y evitar problemas de toxicidad.

Se han hecho estudios en Japón en los cuales se ha comprobado que muchos metales tóxicos se pueden unir químicamente a los elementos de hidratación del cemento portland. Cuando utilizamos aditivos minerales estamos conservando fuentes naturales de materiales y estamos conservando fuentes de energía (al sustituir ceniza volante por cemento el contenido de energía del material se reduce en el mismo porcentaje)

El concreto como material estructural ha cumplido satisfactoriamente con muchas de las funciones para las cuales ha sido requerido, más sin embargo no ha llegado a sus límites en cuanto a evolución se refiere, ya que debido a los constantes avances de su tecnología y en general de la tecnología de materiales, se puede esperar un mejor concreto para el futuro, evolucionado en cuanto a su modulo de elasticidad, resistencia a la tensión, resistencia a la flexión, resistencia al impacto y permeabilidad, propiedades que le permitirán dar mejores resultados en las construcciones de alto nivel y exigida calidad del futuro.

Como hemos visto en los capítulos anteriores, se han utilizado todos los avances en la ciencia y la tecnología en relación al estudio de materiales, para mejorar en lo posible las propiedades del concreto en cuanto a posibilidades de mayor belleza (concreto arquitectónico), resistencia, trabajabilidad y durabilidad.

Se puede suponer que para obtener mejores concretos en la actualidad y en el futuro se deben buscar mejores métodos para reducir la tendencia al sangrado en las mezclas de concreto a través de mejorar la granulometría de los agregados y del uso de aditivos como la microsilica y la ceniza de cascara de arroz; independientemente de los aditivos minerales, el apoyo con agentes superfluidificantes e incluso de aire será cada vez más necesario para mejorar la compactación y la trabajabilidad de las mezclas de concreto en las obras; deberemos mirar hacia los concretos reforzados con fibras y sobre todo hacia el uso de fibras naturales como la fibra de sisal y la fibra de paja de arroz; en lo referente a los sistemas de fabricación y mezclado se espera un gran avance en las plantas centralizadas y de alta velocidad para ayudar a obtener un concreto más uniforme y más exacto en el cumplimiento de los requerimientos de diseño de las mezclas para los casos específicos en que serán utilizadas.

En el futuro los estándares de comportamiento de los materiales serán más exigentes que los que tenemos en la actualidad y esto simplemente porque las estructuras del mañana tenderán a ser más grandes, más complejas y con mayores necesidades a cubrir; por lo que los materiales del futuro tendrán la exigencia de ser más durables, más resistentes y más confiables. Por la evolución del material y por el gran desarrollo que ha tenido su tecnología (Materiales, equipo, mano de obra, conocimientos, etc.) el concreto presenta grandes posibilidades para seguir siendo el material número uno en la construcción.

El concreto y su camino hacia el desarrollo

Es de especial importancia referirnos a las experiencias que están teniendo los países orientales en el uso del concreto estructural, ya que se dice que en los primeros 25 años del próximo siglo esa región atestiguará la mayor actividad constructora en la historia de la humanidad.

El rápido crecimiento industrial en los países asiáticos se debe en gran parte a la liberación económica y a las grandes inversiones extranjeras en esa región del planeta. Las consecuencias lógicas de esto son la expansión en infraestructura y el rápido crecimiento urbano que propician un extraordinario crecimiento en la actividad de la construcción. En china la producción de cemento es ya de 380 millones de toneladas al año y en la india de 170 millones de toneladas al año. En relación a la construcción de estructuras las condiciones son diferentes en estos países en donde los materiales representan el 75% del total de los costos de construcción.

Como se ha presentado a lo largo de este trabajo sabemos que es de vital importancia el conocimiento profundo de los materiales y del medio ambiente local de la construcción para poder desarrollar tecnología propia en materia de procesos de construcción.

La India y África del Sur tuvieron que desarrollar su propia tecnología en los últimos 30 años, ya sea por factores económicos o por factores políticos. De la misma manera China ha resurgido del aislamiento económico en que se encontraba y ha desarrollado una especie de elite tecnológica y una gran fuerza de trabajo subutilizada.

Como ejemplos de los grandes avances en la utilización del concreto estructural en estos países tenemos:

El puente Vasai Creek, en la India. Tiene 2 kilómetros de longitud y fue construido con travesaños prefabricados, postensados y lechados en tierra. Se logró un avance de 11 metros al día lo que significa 1 kilómetro en 3 meses. Todo el equipo de prefabricado y montaje, fue diseñado y fabricado localmente.

Esta obra fue pionera de otras más que han sido construidas bajo los mismos principios.

Las Torres Gemelas Petronas, en Malasia, son los edificios más grandes del mundo en la actualidad (junio de 1999) con 459 mts de altura y 98 niveles.

El sistema estructural es una losa de concreto estructural de 4.5mts de espesor, fabricada con concreto de 600kgs/cm², sobre arcilla maciza y reforzada por pilotes de fricción de 1.2 x 2.8 mts.

Durante su diseño se encontró que dos tubos hechos de concreto estructural eran más económicos que un diseño totalmente de acero. Las torres de concreto estructural utilizaron concreto de alto comportamiento de 400 a 800kgs/cm².

La velocidad de construcción fue de 4 días por nivel y el concreto estructural probó su superioridad en todos los aspectos para la estructura más alta del mundo.

Además de estos proyectos presentados existen otras grandes obras como presas, túneles, aeropuertos, auditorios, hoteles, hospitales, puentes, torres, edificios

comerciales, de vivienda y de oficinas, edificios para plantas nucleares, obras de infraestructura en carreteras, desarrollo urbano, telecomunicaciones, ingeniería del medio ambiente, salud pública y trabajo marítimo, alrededor de China, India, Malasia, Japón, Tailandia, Indonesia, Australia, Nueva Zelanda y Filipinas.

Kumar Mehta y Paulo Monteiro/ Concrete, Structure, Properties, and materials, pag. 374

Propuestas de Líneas de Investigación en Tecnología del Concreto

En función de producir mejores materiales compuestos avanzados, en base a cementantes(Concretos), de atender las mejores posibilidades en el campo de la durabilidad, de mejorar los procedimientos del proceso de fabricación del material (mezclado, transporte, colocación, etc.); la optimización de varios aspectos de la tecnología del material deberán ser considerados y desarrollados en el futuro y esto incluye:

- Investigación en regeneración de escombros de la construcción
- Investigación en reciclado de prefabricados para concreto
- Investigación en obtención de materiales vitrocerámicos a partir de residuos industriales
- Investigación en inmovilización de residuos tóxicos y peligrosos en materiales de cemento
- Desarrollo de mapas de agresividad ambiental hacia estructuras de concreto
- Nuevos métodos acelerados de ensayo para determinar a corto plazo la durabilidad de los materiales
- Investigación de los mecanismos del proceso de corrosión
- Investigación sobre vida útil y residual de las estructuras de concreto, métodos de protección y sistemas de protección de las estructuras de concreto
- La selección óptima de materiales constituyentes
- La optimización de la tecnología del proporcionamiento de mezclas, se hace necesaria para desarrollar materiales compuestos a base de cementantes para aplicaciones específicas y particulares
- El estudio y mejoramiento en las mezclas para Concreto de Alto Comportamiento, Concreto de Alta Resistencia y Concreto de Alta Calidad
- Estudio y análisis para el adecuado en los procesos de manejo, colocación, curado, etc. para obtener resultados óptimos en el comportamiento del material
- Se necesitan establecer científicamente los efectos de los materiales constituyentes en las propiedades del concreto
- Desarrollar la producción de materiales compuestos cementantes utilizando grandes cantidades de productos de desecho de la industria los cuales tienen bajo o ningún costo, para poder así obtener materiales compuestos de bajo costo y materiales cementantes compuestos de alto comportamiento y bajo costo.
- Se requiere mayor investigación para desarrollar cementos compuestos que contengan más del 50% de materiales cementantes diferentes al cemento Portland

- Las propiedades físicas y mecánicas, así como la forma, textura y tamaño de los agregados, tienen un gran impacto en las propiedades del concreto. Los efectos de estos parámetros necesitan ser establecidos más precisamente para obtener comportamientos óptimos en los materiales compuestos a base de cementantes
- Es necesario desarrollar métodos efectivos para las tecnologías de fabricación y mezclado del concreto para materiales constituidos de alto contenido de cementantes, constituyentes muy finos, fibras, etc. En particular una tecnología de mezclado para concreto reforzado con fibras, para incorporar mayores cantidades de fibra y modificar la matriz favorablemente para construcciones con grandes cantidades de concreto
- Investigación para determinar comportamientos de durabilidad y alta resistencia en agregados de peso ligero, fabricados con productos industriales de desecho
- Existe una urgencia en establecer costos efectivos en los agentes reductores de agua de alto rango tales como los superplastificantes a base de lingosulfato que tienen mejores resultados que los superplastificantes a base de melamina o naftaleno
- Más investigaciones se hacen necesarias para determinar el comportamiento de los aditivos retardadores de fraguado en los materiales compuestos a base de cementantes
- Es necesario investigar los efectos de los aditivos sin cloro en la resistencia del concreto especialmente a edad madura
- Más investigaciones se hacen necesarias para determinar los efectos de los retardadores de fraguado y de los aditivos anticongelantes en las propiedades de los materiales compuesto a base de cementantes
- Más investigaciones se hacen necesarias para determinar las proporciones óptimas del proporcionamiento de mezclas y las tecnologías apropiadas de fabricación para los concretos de alto comportamiento
- Se hace necesario investigar más sobre el comportamiento del concreto con alto volumen de ceniza volante, para desarrollar las especificaciones del material y en especial para obtener información sobre su comportamiento en ambientes salinos

CONCLUSIONES

El concreto ha sido uno de los materiales básicos de construcción desde la antigüedad y el ser humano se ha esmerado en la tarea de crear construcciones estéticas y funcionales que abriguen a sus civilizaciones, además de construir obras que las ayuden en su desarrollo. A pesar de ello no sino hasta finales del siglo XIX y principios del siglo XX que el Arquitecto en su interés por la búsqueda de nuevas opciones en el diseño y la construcción empieza a aprovechar las propiedades estéticas y estructurales del Concreto de manera más frecuente.

Hemos visto como desde aquellos años 1900-1920 los arquitectos, ingenieros y constructores han utilizado este material para sustituir otros materiales de construcción.

Las edificaciones se ven favorecidas cuando además la Ingeniería Civil se ve interesada en este material.

Desde entonces y hasta nuestros días el concreto ha tenido una evolución y una utilización constante como lo hemos visto a lo largo de este trabajo, los procesos de fabricación y selección de sus componentes no son los mismos ahora que hace 50 años, los procedimientos de diseño, elaboración, transporte, colocación y acabado del material han sufrido cambios y mejoras sustanciales que le dan la posibilidad, ahora, de poderse adaptar a casi todos los usos posibles dentro de la construcción lo mismo en puentes, carreteras, edificios, torres, plataformas marinas, presas, obras de comunicaciones, que en banquetas, esculturas y fachadas estéticamente impresionantes.

La investigación en el campo de la física y la química del concreto ha permitido el desarrollo de nuevas formas para conocer lo que sucede a nivel microscópico y macroscópico con el material, y esto ha dado la posibilidad de aprovechar al máximo todas sus propiedades

en la obra tanto en estado fresco (edades tempranas) como en estado endurecido

Las propiedades del concreto hecho con cemento portland son resultado de las reacciones químicas entre los compuestos del cemento y el agua y éstas reacciones de hidratación son acompañadas de cambios de materia y energía.

Se han descrito la composición y las características de los elementos principales componentes del cemento, las reacciones de hidratación de los aluminatos y su influencia en el comportamiento de fraguado, y los silicatos con su influencia en la resistencia final. Se ha visto que debido a que el cemento normal no puede cubrir todas las necesidades de la industria de la construcción se han creado cementos especiales con este objetivo.

Los agregados se habían visto siempre como un relleno inerte y sin tanta importancia en el concreto, pero ahora sabemos que los agregados tienen un importante papel en la determinación de muchas propiedades del concreto.

La tecnología del concreto en cuestión de agregados nos ha demostrado que características como la porosidad, la graduación y distribución de tamaños, la forma y la textura de la superficie, la absorción de humedad, el módulo de elasticidad, las sustancias nocivas contenidas y la resistencia a la ruptura son altamente significativas para lograr un concreto homogéneo, durable y resistente.

Hemos podido constatar que los aditivos en la actualidad se han vuelto una parte integral de tal importancia en el concreto, que en el futuro la definición en relación a la composición del concreto tendrá que ser modificada para incluir al aditivo como uno más de sus componentes.

Pero no por esto los problemas de la mala utilización de estos compuestos han dejado de aparecer y es por esto que se recomienda a los profesionistas de la construcción no utilizarlos sin antes realizar las pruebas pertinentes, en especial cuando se trata de grandes proyectos, o cuando los materiales que constituyen el concreto sean de dudosa calidad.

Los aditivos pueden mejorar las propiedades del concreto pero no pueden compensar un mal diseño o proporcionamiento de la mezcla. Los proporcionamientos de las mezclas influyen de manera importante en los costos y en las propiedades del concreto, por lo que, como hemos podido constatar es importante estar familiarizados con los procedimientos comúnmente usados y con los principios fundamentales de este proceso.

No hay duda que la fabricación del cemento, la selección de los agregados y de las proporciones de la mezcla, son etapas importantes para producir un concreto que cumpla con los requerimientos que se han dado, pero esta tarea pudiera quedar inconclusa si no se pone la adecuada atención en las operaciones a las que el material es sometido en sus edades tempranas. Estas operaciones son el transporte, colocación, compactación, el tratamiento de la superficie y el curado, y son las que influyen en la resistencia última, la retracción plástica, la permeabilidad y la retracción por secado del concreto.

Con el crecimiento de las grandes urbes en el mundo, los nuevos agrupamientos humanos, y los que ya están, requerirán cada día de más obras de construcción para satisfacer las necesidades del ser humano, y en este proceso el concreto juega y jugará un papel muy importante, ya que, como hemos podido ver, los grandes avances en su tecnología le permiten adaptarse a casi todas las situaciones imaginables.

El concreto de alta resistencia, el concreto arquitectónico, el concreto con polímeros, el concreto ligero y el concreto de alta trabajabilidad son solo ejemplos del gran número de posibilidades que tiene este material en la arquitectura y en la construcción debidas a la aplicación de los conocimientos científicos y técnicos en la tecnología del concreto.

Aquí se han descrito las consideraciones teóricas que caracterizan a estos concretos especiales, sus propiedades y sus aplicaciones.

Desde el punto de vista de la investigación y de los conocedores de este tema tenemos que enfrentar la problemática respecto a que un gran número de estructuras hechas en tiempos pasados han estado experimentando deterioro de una manera alarmante. Esto probablemente es causado por la exposición de las estructuras a ambientes hostiles y/o a los proporcionamientos excesivos en comparación con los proporcionamientos de diseño establecidos. Por lo tanto, se gastan grandes sumas de dinero en reparar y mantener dichas estructuras, teniendo como resultado un desgaste en las economías de las naciones. Por otro lado se hace necesario diseñar estructuras de concreto para una vida de servicio larga y esto requiere del desarrollo de materiales compuestos avanzados a base de cementantes y de bajo costo. Para especificar en este punto, una nueva generación de concretos llamados concretos de alto comportamiento pueden ser ya diseñados; teniendo alta calidad, alta resistencia y alta durabilidad.

Este trabajo muestra las actuales innovaciones en la producción de materiales constituyentes del concreto, microestructura de concreto y pasta de cemento hidratados, pruebas de concreto, y los avances en materiales compuestos de bases-cementantes como son: concreto de alta resistencia, concreto de alto comportamiento, concreto compactado con rodillos, concreto de ceniza volante de alto

volumen, concreto reforzado con fibras, materiales de baja resistencia controlada y concreto con escorias de alto horno. Con el propósito de producir concretos durables muchos aspectos de las tecnologías de producción de materiales, para materiales compuestos de base-cementante, necesitan ser optimizados. Esto incluye a los materiales constituyentes, proporcionamiento de mezclas, mezclado, manejo, colocación, compactación, curado, etc. Los constituyentes primordiales tales como el cemento, agregados, aditivos minerales y químicos, deberán proveer un alto comportamiento para aplicaciones individuales y particulares.

En función de obtener mejores resultados, materiales cementantes combinados deberán ser utilizados en lugar de cementos portland como única opción. Para obtener alto comportamiento en un gran intervalo de condiciones, los cementos combinados deberán estar compuestos por cemento portland y otros materiales (ceniza volante, ceniza de cascara de arroz, humo de sílice, escoria de altos hornos, etc.).

En relación a los efectos en el medio ambiente y a la protección del mismo, se esta considerando la producción de cementos combinados sin cemento portland.

Algunos materiales puzolánicos tales como ceniza volante, escoria de altos hornos granulada, ceniza de cascara de arroz, humo de sílice, metakaolín, etc., han sido utilizados en investigaciones como reemplazantes del cemento portland en materiales de base cementante. El uso de estos materiales activa la reacción puzolánica en el concreto.

Agregados de bajo peso pueden ser producidos utilizando ceniza volante, sedimentos o desperdicios de la industria del papel, desperdicios del drenaje de desecho de la industria, individualmente o combinados y utilizando procesos de sinterización o fusión.

Varios aditivos químicos como los agentes reductores de agua, aceleradores, agentes anticongelantes, inclusores de aire, inhibidores de la reacción álcali-agregado, inhibidores de la corrosión, y agentes antilavado, son

utilizados ya sea para permitir la colocación del concreto bajo condiciones diferentes y/o difíciles, o para incrementar sus propiedades y su comportamiento. El comportamiento de la pasta de cemento hidratado puede ser utilizado para evaluar el comportamiento del concreto.

Desarrollos recientes en pruebas destructivas al concreto incluyen pruebas de fatiga a la flexión, de durabilidad en relación al congelamiento y al deshielo, y de determinación de las propiedades del concreto fresco y endurecido. Algunos métodos de pruebas no destructivas tales como termografía infraroja, radar de penetración del subsuelo, pulso-eco, impacto-eco, etc., pueden ser utilizados para determinar anomalías o fracturas en estructuras de concreto existentes. Concreto de alta resistencia puede ser producido utilizando materiales y técnicas de producción convencionales. Sin embargo es producido con menor cantidad de agua. El concreto de alta resistencia requiere del uso de agregados especiales (menor tamaño, graduaciones cercanas, alta resistencia), de cementos combinados de alto comportamiento, aditivos químicos especiales, y de cuidados especiales en el mezclado, manejo y colocación. Investigaciones extensivas están desarrollandose para producir concretos de alto comportamiento para ser utilizados en una mayor cantidad de condiciones particulares.

Actualmente el concreto compactado con rodillos esta siendo utilizado en la construcción de presas y carreteras alrededor de todo el mundo, independientemente del diseño, propósito, detalles de construcción, etc., y esto es debido a factores económicos más favorables y al mayor rapidez de colocación con relación al concreto convencional. Concreto de ceniza volante de alto volumen con contenidos de ceniza volante en los materiales cementantes mayor al 40% se produce para múltiples aplicaciones.

El concreto reforzado con fibras puede proporcionarse y producirse para incrementar su capacidad de resistencia a la tensión y a la compresión; para esto grandes cantidades de fibra discontinua son añadidas. Sin embargo actualmente la tecnología para construcciones

con concreto masivo permite el uso de fibras en menos del 2% por volumen de concreto.

Investigaciones recientes han mostrado que el uso de grandes cantidades de fibra en compuestos base-cemento es posible a través de la utilización de tecnología de extrusión; aunque esta tecnología no es apropiada para el concreto masivo en la construcción.

Los materiales de baja resistencia controlada son producidos como material de gran fluidez y son utilizados en elementos no estructurales.

La rápida fluidez puede ser lograda utilizando ceniza volante, ceniza de fondo, arena metálica, agregados pobres, etc.

Los materiales así producidos son utilizados como materiales de ademe para trincheras, ductos, etc.; también pueden ser utilizados como materiales de relleno para túneles abandonados, cavidades del subsuelo, etc.

Uno de los aspectos de más preocupación actualmente es la preservación del medio ambiente, debida a los daños irreversibles de los que ya lo hemos hecho víctima.

En este punto el concreto nos ha presentado sus bondades y sus importantes características como neutralizador de los desechos tóxicos producidos por la industria y por el ser humano como lo es la basura, de la cual se producen agregados artificiales.

El concreto es el material estructural que hoy en día es el más utilizado; en el futuro los arquitectos, ingenieros y constructores tendrán que considerar al seleccionar un material para la construcción, no sólo sus atractivos estéticos, técnicos y económicos, sino también tendrán sus implicaciones ecológicas y de preservación de energía en su utilización.

El concreto en el futuro tenderá a ser mejor porque parece tener en conjunto las características requeridas para el uso estructural, pero esto dependerá en gran medida de los objetivos y pretensiones del ser humano y sus sociedades en el futuro.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, "COLOCACIÓN DE CONCRETO POR METODOS DE BOMBEO", México: IMCYC, 1999.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, "CURADO DEL CONCRETO" , México: IMCYC, 1998.

CASTRO, Borges, Pedro, Tr., "INFRAESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO DETERIORO Y OPCIONES DE PRESERVACIÓN", México: IMCYC, 2001, 198 p.

CASTRO, Borges, Pedro, San Juan, Miguel, Angel, "ACCION DE LOS AGENTES QUÍMICOS Y FÍSICOS SOBRE EL CONCRETO", México: IMCYC, 2001.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, UNAM, Instituto de Ingeniería, "MANUAL DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO", México; Limusa, Noriega Editores, 1994.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, Instituto de Investigaciones Eléctricas, " MANUAL PARA EL MANTENIMIENTO DEL CONCRETO", México; 1991.

CONGRESO INTERAMERICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, IMCYC, Argentina: "UN ENFOQUE INNOVADOR PARA ASEGURAR LA DURABILIDAD DE LAS ESTRUCTURA", México, D. F. , 1999.

CONGRESO INTERAMERICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, IMCYC, Brasil: "EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE CONCRETOS FABRICADOS CON AGREGADOS PROVENIENTES DE LA REGION DE LISBOA Y DE LA ISLA DE MADEIRA", México, D. F. , 1999.

CONGRESO INTERAMERICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, IMCYC, Canadá: "ESTADO DEL ARTE EN LA TECNOLOGÍA DEL CONCRETO", México, D. F. , 1999.

CONGRESO INTERAMERICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, IMCYC, Cuba: "INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO EN SU DURABILIDAD", México, D. F. , 1999.

CONGRESO INTERAMERICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, IMCYC, Chile : "PROPIEDADES DEL HORMIGÓN AL VACIO , FABRICADO CON CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO", México, D. F. , 1999.

CONGRESO INTERAMERICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, IMCYC, Inglaterra: "HOY PODEMOS HACER BUEN CONCRETO", México, D. F. , 1999.

CONGRESO INTERAMERICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, IMCYC, México : "ADITIVOS EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO", México, D. F. , 1999.

CONGRESO INTERAMERICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, IMCYC, México : "EFECTIVIDAD DE LOS CEMENTOS PUZOLÁNICOS PARA MEJORAR LA RESISTENCIA AL ATAQUE DE LOS SULFATOS EN EL CONCRETO", México, D. F. , 1999.

CONGRESO INTERAMERICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, IMCYC, USA: "EL CONCRETO EN LAS OBRAS DEL PRÓXIMO MILENIO", México, D. F. , 1999.

CONGRESO INTERAMERICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, IMCYC, México: "LA DOCENCIA Y LA INVESTIGACIÓN EN LA ENSEÑANZA DEL CONCRETO", México, D. F. , 1999.

CONGRESO INTERAMERICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, IMCYC, México: "VENTAJAS ESTRUCTURALES Y ECONOMICAS DEL USO DE CONCRETO DE ALTO COMPORTAMIENTO", México, D. F. , 1999.

ESQUEDA, Huidobro, Heraclio, "CONCRETO ARQUITECTÓNICO", México: IMCYC, 1996, 171p.

FALCONI, M., Francisco, Tr., "CONCRETE PLANT OPERATION MANUAL", México: IMCYC, 1991.

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA, "MEMORIA DE ACTIVIDADES: PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN , ARTICULOS, LIBROS Y OBRAS, SEMINARIOS Y CURSOS", España: IETcc, 1998.

KOSMATKA, Steven y PANARESE, William, "DISEÑO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO", México: IMCYC, 1992, 230p.

MARTINEZ, Hector, Tr., "EL CONCRETO EN LA CONSTRUCCIÓN", México: Trillas, 1996.

Mc MILLAN, F. R. y TUTHIL, Lewis, H., "CARTILLA DEL CONCRETO", México: IMCYC, 1992.

METHA, P. Kumar, "CONCRETO ESTRUCTURA PROPIEDADES Y MATERIALES", México: IMCYC, 1998.

MOLINA, Ermilo, "CONCRETO ARQUITECTÓNICO COLADO EN OBRA", México: IMCYC, 1988.

MOLINA, Ermilo, "PROBLEMAS EN EL CONCRETO: CAUSAS Y SOLUCIONES", México: IMCYC, 1990, 264 p.

NEVILLE, Adam, "TECNOLOGÍA DEL CONCRETO", México: IMCYC, 1999, 612p.

NEVILLE, Adam, "TECNOLOGÍA DEL CONCRETO", México: IMCYC, 1992.

"NORMAS", México: IMCYC, 1997,71p.

ORTEGA, González, Arturo, "EVOLUCION TECNOLÓGICA DEL CONCRETO Y LA ARQUITECTURA CONTEMPORÁNEA", México: IMCYC, 1999.

PARKER, Harry, "DISEÑO SIMPLIFICADO DE CONCRETO REFORZADO ", México: Limusa: Noriega editores, 1996.