

**UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA
"JOSE SIMEON CAÑAS", UCA**
Departamento de Mecánica Estructural, Apartado Postal (01)168, Autopista Sur, San
Salvador, El Salvador, América Central

Materia: MATERIALES DE CONSTRUCCION

**GUIA DE CLASES No. 6
MATERIALES DE CONSTRUCCION**



*El séptimo edificio más alto del mundo es el **CITIC Plaza**, terminado en 1997, fue brevemente el edificio más alto en China, Tiene una altura de 391 metros y tiene 80 pisos por encima de la calle.*

<http://www.astroseti.org/vernew.php?codigo=926>

4.6. Propiedades del mortero y el concreto.

4.6.1. Propiedades del mortero y del concreto endurecido.
<http://dei.uca.edu.sv/mecanica/> (abril 2006)

En este apartado se presentan las principales características de los morteros y concretos hidráulicos fabricados a base de "cementos hidráulicos" y de peso volumétrico normal.

Cabe recordar que existen diferentes tipos de morteros y concretos que el estudiante puede investigar: concreto asfáltico, concreto polimérico, concreto aligerado, concreto ciclopeo, mortero epóxico, suelo cemento fluido, concreto lunar, concreto flexible, concreto traslúcido, etc.

PROPIEDAD	CARACTERÍSTICAS Y/O VALOR
<u>RESISTENCIA A LA COMPRESION</u>	Esta depende del diseño de la mezcla, relación <u>agua/cemento</u> , y el grado en que haya avanzado la <u>hidratación</u> .
<u>RESISTENCIA A LA TENSION</u>	Esta es muy pequeña, por lo que para propósitos estructurales en diseño de elementos se desprecia. La resistencia a la tensión depende principalmente de la adherencia entre la pasta de <u>cemento</u> y los <u>agregados</u> en el <u>concreto</u> .
<u>RESISTENCIA A LA FATIGA</u>	Depende principalmente de la resistencia a la compresión, las condiciones de humedad, la edad del <u>concreto</u> y la velocidad de la carga a soportar.
<u>MODULO DE ELASTICIDAD (compresión)</u>	<p>Para <u>concretos</u> de peso normal, para el cual, el ACI recomienda para el cálculo del módulo de elasticidad la siguiente fórmula (en Kg/cm²):</p> $E_c = 15,100 (f'c)^{1/2}$ <p>Y para concretos cuyo peso oscila entre 1,400 y 2,480 kg/m³ se puede calcular con la fórmula siguiente:</p> $E_c = 0.14 Wc^{1.5} (f'c)^{1/2}$ <p>Donde:</p> <p>E_c = módulo de elasticidad del <u>concreto</u>, en kg/cm². Wc = peso unitario del concreto, ton/m³. $f'c$ = resistencia especificada a la compresión, en kg/cm².</p>
<u>FLUJO PLASTICO</u>	Depende en gran manera de la resistencia a la compresión, pero también de factores como: el tipo de <u>cemento</u> y <u>agregados</u> , y la edad del <u>concreto</u> cuando se carga por primera vez.
<u>DUCTILIDAD</u>	No es un material dúctil, ya que poco después de alcanzar su deformación máxima se rompe instantáneamente; esto se conoce como "aplastamiento del <u>concreto</u> "

4.6.2. Resistencia del mortero y del concreto.

Adquisición de resistencia mecánica

<http://www.monografias.com/trabajos4/concreto/concreto.shtml> (abril 2006)

La velocidad de hidratación y adquisición de resistencia de los diversos tipos de cemento Pórtland depende básicamente de la composición química del clinker y de la finura de molienda. De esta manera, un cemento con alto contenido de silicato tricálcico (C3S) y elevada finura puede producir mayor resistencia a corto plazo, y tal es el caso del cemento tipo III de alta resistencia rápida.

En el extremo opuesto, un cemento con alto contenido de silicato dicálcico (C2S) y finura moderada debe hacer más lenta la adquisición inicial de resistencia y consecuente generación de calor en el concreto, siendo este el caso del cemento tipo IV.

Dentro de estos límites de comportamiento, en cuanto a la forma de adquirir resistencia, se ubican los otros tipos de cemento Pórtland.

En cuanto a los cementos Pórtland - modificados con puzolana, su adquisición inicial de resistencia suele ser un tanto lenta debido a que las puzolanas no aportan prácticamente resistencia a edad temprana. Las puzolanas son materiales naturales o artificiales, que contienen sílice y/o aluminio, los cuales no endurecen por sí mismos; pero finamente molidos, reaccionan ante la presencia de agua, con el hidróxido de calcio que se forma como consecuencia de la hidratación del cemento.

Por otra parte, resulta difícil predecir la evolución de resistencia de estos cementos porque hay varios factores que influyen y no siempre se conocen, como son el tipo de clinker con que se elaboran y la naturaleza, calidad y proporción de su componente puzolánico.

De acuerdo con las tendencias mostradas puede considerarse que, para obtener el beneficio adecuado de resistencia de cada tipo y clase de cemento en función de sus características, lo conveniente es especificar la resistencia de proyecto del concreto a edades que sean congruentes con dichas características: 14, 28 o m90 días.

Generalmente se establece como parámetro de resistencia, el esfuerzo a la compresión de un cilindro normado por la ASTM C-39 a los 28 días de edad.

Resistencia a la compresión <http://www.arqhvs.com/resistencia-concreto.html> (abril 2006)

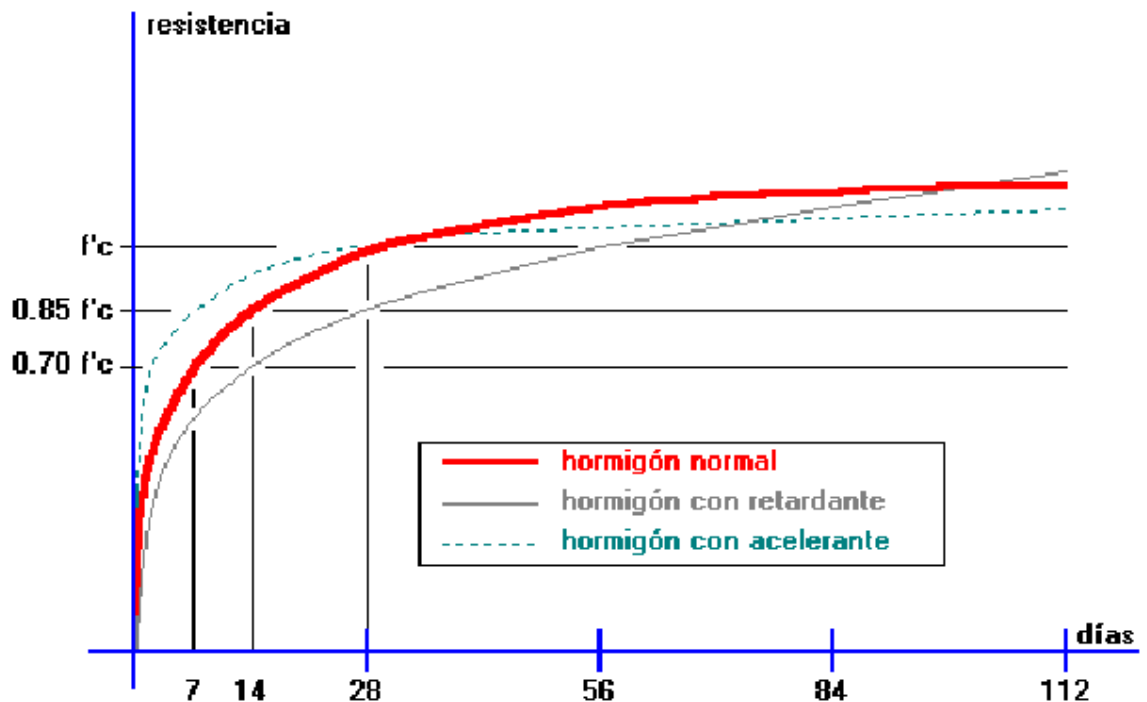
La resistencia a la compresión se puede definir como el máximo esfuerzo medido en un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm²) o en Mega pascales (MPa), a una edad de 28 días y se le designa con el símbolo $f'c$.

Para de terminar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas a especímenes cúbicos (5cm por lado) de mortero o cilindros que miden 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, para el caso de concretos.

La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental, y es frecuentemente empleada el los cálculos para diseño de puente, de edificios y otras estructuras:

- Concreto de uso generalizado: entre 210 kg/cm² (20.5 Mpa) y 350 kg/cm² (34.2 Mpa).
- Concreto de alta resistencia: al menos 420 kg/cm² (41.2 Mpa).

La gráfica que relaciona la resistencia a la compresión con la edad es la siguiente:



También conviene relacionar la resistencia a la compresión con la relación agua-cemento. http://www.melon.cl/html_construc_prof/webtipn8.htm#n6 (abril 2006). La investigación y la experiencia han demostrado que el factor de mayor importancia en la resistencia del hormigón es el cuociente entre la cantidad de agua de amasado y la de cemento (Ley de Abrams, 1919). Este cuociente se

denomina relación Agua/Cemento (abreviada A/C) y se expresa como fracción en peso de los materiales. Para un tipo de cemento, a menor relación A/C mayor resistencia (ver Figura siguiente).

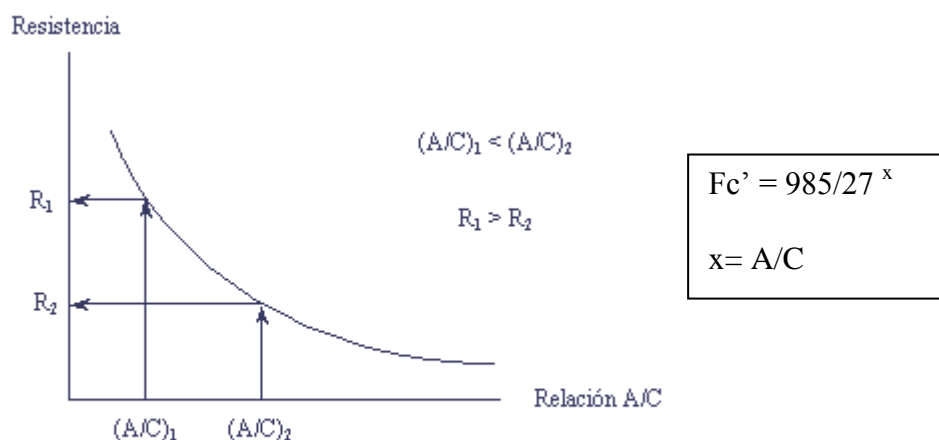


Fig. 1. Resistencia versus relación (A/C)

Además, se ha determinado que la resistencia del hormigón sigue dependiendo principalmente de la relación A/C incluso ante variaciones en sus componentes (proporción de áridos, dosis de cemento o agua), siempre que los áridos sean de calidad, la mezcla sea plástica, trabajable y no presente segregación.

Ejemplo: para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, la relación a/c sería 0.47

Resistencia a la flexión <http://www.arqhvs.com/resistencia-concreto.html> (abril 2006)

La resistencia a la flexión del concreto se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como índice de la resistencia a la flexión, una vez que entre ellas se ha establecido la relación empírica para los materiales y el tamaño del elemento en cuestión. Experimentalmente se ha comprobado que la resistencia a la flexión, también llamada modulo de ruptura, para un concreto de peso normal, está entre 1.99 y 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

Resistencia a la tensión, cortante y torsión <http://www.arqhvs.com/resistencia-concreto.html> (abril 2006)

El valor de la resistencia a la tensión del concreto es aproximadamente de 8% a 12% de su resistencia a compresión y a menudo se estima como 1.33 a 1.99 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión. La resistencia a la torsión para el concreto esta relacionada con el modulo de ruptura y con las dimensiones del elemento de concreto. La resistencia al cortante del concreto puede variar desde el 35% al 80% de la resistencia a compresión. La correlación existe entre

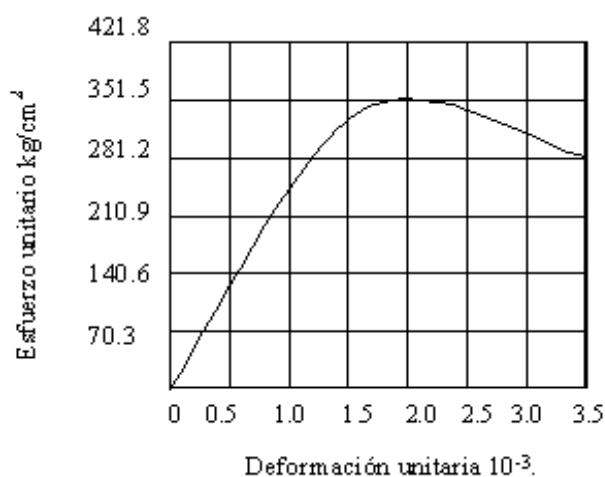
la resistencia a la compresión y resistencia a flexión, tensión, torsión, y cortante, de acuerdo a los componentes del concreto y al medio ambiente en que se encuentre.

4.6.3. Comportamiento elástico, contracción y fluencia lenta.

Comportamiento elástico <http://www.arqhys.com/resistencia-concreto.html> (abril 2006) <http://www.construaprende.com/Tesis/Cap1/Concreto2.html> (abril 2006)

El modulo de elasticidad, denotando por medio del símbolo E, es un parámetro para comprender la elasticidad de un material y se puede definir como la relación del esfuerzo normal con la deformación correspondiente para esfuerzos de tensión o de compresión por debajo del límite de proporcionalidad de un material.

El término deformaciones elásticas es un poco ambiguo, puesto que la curva esfuerzo-deformación para el concreto no es una línea recta aun a niveles normales de esfuerzo (ver figura siguiente), ni son enteramente recuperables las deformaciones. Pero, eliminando las deformaciones plásticas de esta consideración, la porción inferior de la curva esfuerzo-deformación instantánea, que es relativamente recta, puede llamarse convencionalmente elástica. Entonces es posible obtener valores para el módulo de elasticidad del concreto. El módulo varía con diversos factores, notablemente con la resistencia del concreto, la edad del mismo, las propiedades de los agregados y el cemento, y la definición del módulo de elasticidad en sí, si es el módulo tangente, inicial o secante. Aún más, el módulo puede variar con la velocidad de la aplicación de la carga y con el tipo de muestra o probeta, ya sea un cilindro o una viga. Por consiguiente, es casi imposible predecir con exactitud el valor del módulo para un concreto dado.



Curva típica esfuerzo-deformación para concreto de 350 kg/cm².

Del solo estudio de las curvas de esfuerzo-deformación resulta obvio que el concepto convencional de módulo de elasticidad no tiene sentido en el concreto. Por lo tanto, es necesario recurrir a definiciones arbitrarias, basadas en

consideraciones empíricas. Así, se puede definir el módulo tangente inicial o tangente a un punto determinado de la curva esfuerzo-deformación y el módulo secante entre dos puntos de la misma.

El módulo secante se usa en ensayos de laboratorio para definir la deformabilidad de un concreto dado. La ASTM recomienda la pendiente de la línea que une los puntos de la curva correspondiente a una deformación de 0.00005 y al 40% de la carga máxima.

Se han propuesto muchas relaciones que expresan el módulo de elasticidad en función de la resistencia del concreto. Para concretos de peso normal, E fluctúa entre 140,600 y 422,000 kg/cm², y se puede aproximar como 15,100 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.

$$E_c = 15,100 (f'_c)^{1/2}$$

Asentamiento y sangrado

<http://www.monografias.com/trabajos4/concreto/concreto.shtml> (abril 2006)

En cuanto el concreto queda en reposo, después de colocarlo y consolidarlo dentro del espacio del molde, se inicia un proceso natural mediante el cual los componentes más pesados (cemento y agregados) tienden a descender en tanto que el agua, componente menos denso, tiende a subir. A estos fenómenos simultáneos se les llama respectivamente asentamiento y sangrado, y cuando se producen en exceso se les considera indeseables porque provocan cierta estratificación en la masa de concreto, según la cual se forma en la superficie superior una capa menos resistente y durable por su mayor concentración de agua. Esta circunstancia resulta particularmente inconveniente en el caso de pavimentos de concreto y de algunas estructuras hidráulicas cuya capa superior debe ser apta para resistir los efectos de la abrasión mecánica e hidráulica.

Los principales factores que influyen en el asentamiento y el sangrado del concreto son de orden intrínseco, y se relacionan con exceso de fluidez en las mezclas, características deficientes de forma, textura superficial y granulometría en los agregados (particularmente falta de finos en la arena) y reducido consumo unitario y/o baja finura en el cementante. Consecuentemente, las medidas aplicables para moderar el asentamiento y el sangrado consisten en inhibir la presencia de dichos factores, para lo cual es pertinente:

- Emplear mezclas de concreto con la consistencia menos fluida que pueda colocarse satisfactoriamente en la estructura, y que posea el menor contenido unitario de agua que sea posible, inclusive utilizando aditivos reductores de agua si es necesario.
- Utilizar agregados con buena forma y textura superficial y con adecuada composición granulométrica; en especial, con un contenido de finos en la arena que cumpla especificaciones en la materia.

Contracción <http://www.arqhys.com/estabilidad-concreto.html> (abril 2006)

El concreto endurecido presenta ligeros cambios de volumen debido a variaciones en la temperatura, en la humedad, y a esfuerzos aplicados. Estos cambios de volumen o de longitud pueden variar de aproximadamente 0.01% hasta 0.08%.

El concreto que se mantiene continuamente húmedo se dilata ligeramente. Cuando se permite que seque, el concreto se contrae. El principal factor que influye en la magnitud de la contracción por el secado es el incremento en el contenido de agua. La magnitud de la contracción también depende de otros factores, como las cantidades de agregado empleado, las propiedades del agregado, tamaño y forma de la masa de concreto, temperatura y humedad relativa del medio ambiente, método de curado, grado de hidratación, y tiempo. El contenido de cemento tiene un efecto mínimo a nulo sobre la contracción por secado para contenidos de cemento entre 280 y 450 kg por metro cúbico.

Fluencia lenta (flujo plástico)

Cuando el concreto se somete a esfuerzos sostenidos resulta una deformación adicional llamada fluencia. La velocidad de la fluencia (deformación por unidad de tiempo) disminuye con el tiempo.

El flujo plástico se define como el incremento de la deformación del concreto sujeto a un esfuerzo constante con el transcurso del tiempo. El flujo plástico es particularmente importante en las estructuras de concreto presforzado, el cual se emplea típicamente en puentes, losas de grandes claros, elementos prefabricados, así como en columnas de edificios, las cuales están sometidas a cargas por largo tiempo. Cuando en el diseño estructural no se considera el flujo plástico del concreto, las estructuras pueden llegar a la falla.

Existen muchos factores que influyen en el flujo plástico del concreto, entre los que podemos mencionar los siguientes:

- Relativos al concreto: relación agregado-cemento, relación agua-cemento, tipo de agregado y su graduación, composición y finura del cemento, contenido de humedad y edad al momento de la carga.
- Relativos a la estructura: intensidad y duración de la carga, humedad ambiental y tamaño del elemento estructural.
- Relativos al agregado: menor flujo plástico a mayor tamaño máximo de agregado: Los concretos que emplean agregados de origen andesítico, presentan mayores valores de flujo plástico que aquellos que usan agregados de origen calizo.
- Relativos a la resistencia a la compresión del concreto: cuanto mayor sea la resistencia a la compresión, menor será el valor de flujo plástico del concreto, considerando la misma intensidad de carga y condiciones geométricas de la estructura y del ambiente.

La mejor manera que disminuir el flujo plástico del concreto es mediante el uso de agregados de excelentes propiedades mecánicas, bajas relaciones agua/cemento y concretos de alta resistencia, los cuales, se ha visto, tienen menores valores de flujo plástico que los concretos de menor resistencia.

4.6.4. Efectos de la temperatura.

El calentamiento producido por la hidratación del cemento expande al concreto, de manera que posteriormente al enfriarse sufre una contracción, normalmente restringida, que genera esfuerzos de tensión capaces de agrietarlo. La posibilidad de que esto ocurra tiende a ser mayor a medida que aumenta la cantidad y velocidad de generación de calor y que disminuyen las facilidades para su pronta disipación. Es decir, el riesgo de agrietamiento de origen térmico se incrementa cuando se emplea un cemento de alta y rápida hidratación, como el tipo III, y las estructuras tienen gran espesor. Obviamente, la simultaneidad de ambos factores representa las condiciones pésimas en este aspecto.

En lo referente a los cementos portland-puzolana, su calor de hidratación depende del tipo de clinker que contiene y de la actividad y proporción de su componente puzolánico. De manera general se dice que una puzolana aporta aproximadamente la mitad del calor que genera una cantidad equivalente de cemento. Por consiguiente, cuando se comparan en este aspecto dos cementos, uno portland y otro portland-puzolana elaborados con el mismo clinker, puede esperarse en el segundo una disminución del calor de hidratación por una cantidad del orden de la mitad del que produciría el clinker sustituido por la puzolana, si bien es recomendable verificarlo mediante prueba directa porque hay casos en que tal disminución es menor de lo previsto (16).

Concreto en climas calurosos.

<http://fic.uni.edu.pe/construccion/concreto/Concreto%202/Concreto%20en%20Climas%20Calidos.ppt> (abril 2006)

Se define clima caluroso a la combinación de las siguientes condiciones que tiendan a deteriorar la calidad del concreto recién mezclado o del endurecido al acelerar la rapidez de hidratación del cemento: alta temperatura ambiental (mayor que 30° C); alta temperatura en el concreto; baja humedad relativa del aire; fuerte velocidad del viento y gran radiación solar.

Estas condiciones severas producen la necesidad de mayor cantidad de agua; mayor rapidez de pérdida de revenimiento y la tendencia correspondiente a agregar agua en el sitio de la obra. También se produce una mayor rapidez de fraguado que implica una mayor dificultad con el manejo, compactación y terminado. En consecuencia se tiene una mayor propensión a la contracción por secado y a agrietamiento por diferencias de temperatura ya sea por enfriamiento de toda la estructura o por diferenciales de temperatura dentro de la sección transversal del miembro.

Los concretos que se mezclan, colocan y curan a temperaturas elevadas normalmente desarrollan mayores resistencias tempranas que los concretos

producidos y curados a menores temperaturas.

Las altas temperaturas del concreto, la alta temperatura del aire, la alta velocidad del viento, y la baja humedad, inducen una evaporación rápida del agua superficial y aumentan considerablemente la probabilidad de que ocurra el agrietamiento por contracción plástica.

Un límite que puede ser adecuado para un caso especial podría resultar insatisfactorio para otros, por lo que se recomienda que para algunas temperaturas comprendidas entre 24 y 38°C existe un límite que resulta el más recomendable para obtener los mejores resultados en cada operación de colado en climas calurosos y dicho límite deberá determinarse para el trabajo en particular.

El agua tiene un calor específico del orden de cuatro o cinco veces el del cemento o de los agregados, la temperatura del agua de mezclado tiene el efecto más pronunciado por unidad de peso sobre la temperatura del concreto.

La temperatura del agua es más fácil de controlar que la de los otros componentes, el agua fría reducirá la temperatura de colocación del concreto 4.5°C.

4.6.5. Durabilidad.

La durabilidad es el mayor problema de las estructuras de concreto en muchas partes del mundo. Se detectaron numerosos casos de durabilidad inadecuada de estructuras de concreto construidas en los años sesenta y setenta, que se debían a la selección de mezclas de concreto con base únicamente en la resistencia. De hecho, debido a los cambios en las propiedades del cemento, la misma resistencia que había sido previamente especificada podía ahora obtenerse con una relación agua/cemento más alta. En consecuencia, para una resistencia dada a 28 días, el concreto era más permeable que el concreto de los años cincuenta.

Los factores que afectan la durabilidad del concreto son tanto extrínsecos como intrínsecos, de modo que para tomarlos debidamente en cuenta, el diseñador debe tener un buen conocimiento de los fenómenos químicos y físicos de la interacción entre el concreto y el medio ambiente:

- Acciones físicas como fisuras en el concreto, cambios volumétricos en estado plástico, y cambios volumétricos en estado endurecido
- Acciones mecánicas, como el efectos de las cargas en el tiempo (fluencia), sobrecargas y deformaciones impuestas: vibraciones excesivas; daños por abrasión y patologías por acción del fuego y explosiones.
- Acciones químicas, como el ataque de ácidos, lixiviación por aguas blandas, carbonatación. ataque de sulfatos, ataque de cloruros y la expansión destructiva de las reacciones álcali - agregado.
- Acciones biológicas, como la bioreceptividad del concreto, mecanismos de deterioro biológico y por microorganismos.

➤ Corrosión del acero de refuerzo

Existen otros ejemplos de la relación entre el comportamiento del concreto y el desempeño de las estructuras de concreto en servicio. Un ejemplo es la influencia de la forma de la estructura sobre la durabilidad; las losas de malecones en las aguas del mar son menos susceptibles de corrosión del refuerzo que la construcción con vigas y tableros.

El problema de durabilidad de las estructuras de concreto se debe considerar bajo los siguientes aspectos:

- La clasificación de la agresividad del medio ambiente
- La clasificación de la resistencia del concreto al deterioro
- Los modelos (preferentemente numéricos) del deterioro y envejecimiento de las estructuras de concreto.
- La vida útil deseada, o sea, el período de tiempo en el cual se desea que la estructura atienda ciertos requisitos funcionales con un mínimo de mantenimiento. Generalmente se toma un valor de referencia de vida útil de 50 años.

La clasificación de la agresividad del ambiente, con base en las condiciones de exposición de la estructura o de sus partes, debe tener en cuenta el micro y el macro clima actuantes sobre la obra en sus partes críticas.

Ciertas combinaciones de acción física superficial, tales como abrasión y cavitación aumentan la velocidad de ataque químico y pueden conducir al aumento de un grado en la clase de agresividad.

Los modelos numéricos de deterioro o envejecimiento de las estructuras, también deben ser considerados por separado, bien estén relacionados con la corrosión de las armaduras o con el deterioro del concreto.

Para la corrosión del refuerzo existen actualmente modelos de envejecimiento, mientras que para el deterioro del concreto (velocidad de deterioro por sulfatos, por lixiviación, por reacción álcali-agregado y otras formas de deterioro) aún no existen modelos matemáticos satisfactorios, por lo que hay que basar las condiciones de durabilidad en valoraciones cualitativas.

4.7. Aditivos químicos

<http://www.monografias.com/trabajos4/concreto/concreto.shtml> (abril 2006)

Debido a que los componentes básicos del concreto hidráulico son el cemento, el agua y los agregados, cualquier otro ingrediente que se incluya en su elaboración puede ser considerado, literalmente hablando, como un aditivo.

Sin embargo, en la práctica del concreto hidráulico convencional, no se consideran aditivos las puzolanas y las escorias cuando forman parte de un cemento Pórtland-puzolana. Pórtland-escoria, ni tampoco las fibras de refuerzo.

Con estas salvedades, resulta válida la definición propuesta por el Comité ACI 116(26), según la cual un aditivo es un material distinto del agua, los agregados, el cemento hidráulico y las fibras de refuerzo, que se utiliza como ingrediente del mortero o del concreto, y que se añade a la revoltura inmediatamente antes o durante el mezclado.

La interpretación que puede darse a esta definición es que un material sólo puede considerarse como aditivo cuando se incorpora individualmente al concreto, es decir, que se puede ejercer control sobre su dosificación. De esta manera, las puzolanas y las escorias solamente son aditivos si se les maneja y administra por separado del cemento Pórtland. Lo cual no deja de ser más bien una cuestión de forma, ya que cualitativamente sus efectos son los mismos que si se administran por conducto del cemento.

Para complementar la definición anterior, tal vez cabría añadir que los aditivos para concreto se utilizan con el propósito fundamental de modificar convenientemente el comportamiento del concreto en estado fresco, y/o de inducir o mejorar determinadas propiedades deseables en el concreto endurecido.

El comportamiento y las propiedades del concreto hidráulico, en sus estados fresco y endurecido, suelen ser influidos y modificados por diversos factores intrínsecos y extrínsecos. Los intrínsecos se relacionan esencialmente con las características los componentes y las cantidades en que éstos se proporcionan para laborar el concreto. En cuanto a los extrínsecos, pueden citarse principalmente las condiciones ambientales que prevalecen durante la elaboración y colocación del concreto, las prácticas constructivas que se emplean en todo el proceso desde su elaboración hasta el curado, y las condiciones de exposición y servicio a que permanece sujeta la estructura durante su vida útil.

Las principales razones del empleo de aditivos en concreto y mortero son:

- Reducir el costo de la construcción de concreto.
- Obtener algunas propiedades en el concreto de manera más efectiva.
- Asegurar la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colocación y curado en condiciones ambientales adversas.
- Superar ciertas eventualidades durante las operaciones de colado.

Se deben realizar mezclas de prueba con el aditivo y los materiales a utilizar a las temperaturas y humedades que se vayan a tener en la obra civil, para observar la compatibilidad del aditivo con otros aditivos y con los materiales a emplear, así como los efectos en las propiedades del concreto fresco y endurecido. Deben seguirse las instrucciones recomendadas por el fabricante y por los ensayos realizados en el laboratorio.

Existen varios tipos de aditivos:

<http://dei.uca.edu.sv/mecanica/Facilitadores/PM%20Alfabetico2.htm> (abril 2006)

CLASIFICACION	DESCRIPCION
<u>ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE</u>	Son utilizados para mejorar la trabajabilidad, la durabilidad de los morteros o concretos que estén expuestos a la intemperie o deterioro por acción de sustancias químicas, según norma ASTM C260. Dentro de los materiales que se pueden utilizar se encuentran: sales de resinas de madera , algunos detergentes sintéticos, sales de lignina sulfonatada, sales de ácidos de petróleo , sales de material proteináceo, etc.
<u>ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA</u>	Se emplean para disminuir la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto con un cierto revenimiento, reducir la relación agua/ cemento , o para aumentar el revenimiento. (ver norma ASTM C495).
<u>ADITIVOS RETARDANTES</u>	Se emplean para aminorar la velocidad de fraguado del concreto , sin bajar la temperatura inicial de éste, para compensar el efecto acelerante que tiene el clima cálido en el fraguado, y para retrasar el fraguado para aplicar procesos de acabado especiales, (ver norma ASTM C495). Algunos de los materiales utilizados son: lignina, bórax, azúcares.
<u>ADITIVOS ACELERANTES</u>	Se emplean para acelerar el desarrollo de la resistencia del mortero o concreto y además aceleran el fraguado, (ver norma ASTM C494). Algunos de los materiales que se pueden utilizar son: cloruro de calcio, trietanolamina, tiocianato de sodio, formato de calcio, nitrito de calcio,
<u>ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES</u>	Son aditivos reductores de agua de alto rango, que se agregan a los concretos de revenimiento y relación agua/ cemento bajos a normales para producir concretos fluidos de alto revenimiento, aumentan la fluidez del concreto y retrasan el fraguado, según especificaciones ASTM C1017 y C494.
<u>ADITIVOS MINERALES FINAMENTE DIVIDIDOS</u>	Son materiales pulverizados que se agregan al concreto antes del mezclado o durante éste para mejorar o transformar algunas de las propiedades del mortero o del concreto en estado plástico o endurecido. escoria de alto horno granulada molida (ASTM C989), Las puzolanas sirven para mejorar la trabajabilidad, la plasticidad, la resistencia a los sulfatos, reducen la permeabilidad y el calor de hidratación, dentro de los materiales que se utilizan como puzolánicos encontramos: tierras diatomáceas, horstenos, opalinos, arcillas, pizarras, tufas volcánicas, pumicitas, cenizas volantes, etc (ASTM C618).

Otros aditivos.

Colorantes: pigmentos que se añaden al cemento para modificar el color y está formado por óxidos metálicos. Se da color al concreto haciendo uso de materiales naturales y sintéticos por razones estéticas y de seguridad. Materiales

que se pueden utilizar: negro de humo modificado, óxido de hierro, tierra de sombra, óxido de cromo, óxido de titanio, azul cobalto (ASTM C979).

Deben cumplir con tener un alto poder de coloración, gran facilidad para mezclarse con el cemento, que sea insoluble en el agua, que sean estables a la luz y al ambiente, además de a los ambientes agresivos, que no alteren el proceso de fraguado del hormigón.

Anticongelantes: se usan cuando el concreto está a bajas temperaturas y se utilizará hasta una temperatura de -14°C.

Impermeabilizantes: son repelentes al agua y actúan cerrando el sistema poroso del hormigón mediante unas sustancias químicas en el fraguado del concreto. Este no es totalmente efectivo. Disminuyen la permeabilidad en el concreto. Se pueden utilizar materiales tales como: humo de sílice, cenizas volantes (ASTM C618), escoria sólida (ASTM C989), puzolanas naturales, látex, etc

Expansores: provocan expansión antes de que se presente el fraguado, se usan algunos de los materiales siguientes: polvo de aluminio, jabón de resina y goma vegetal o animal, saponina y proteínas hidrolizadas

Inhibidores de corrosión: se utilizan para reducir el avance de la corrosión del acero en un ambiente con cloruros y se utilizan materiales tales como: nitrito de calcio, nitrito de sodio, benzoato de sodio, algunos fosfatos o fluosilicatos.

Fungicidas, germicidas e insecticidas: Inhiben o controlan el crecimiento de bacterias y hongos. Dentro de los materiales que se utilizan son: fenoles polihalogenados, emulsiones de dieldrin o compuestos de cobre.

Aditivos para morteros: ajustan propiedades de los morteros para aplicaciones específicas, ver los aditivos inclusores de aire, acelerantes, retardantes y agentes para la trabajabilidad

Exclusores de aire: Disminuyen el contenido de aire. Algunos de los materiales son: fosfato tributilo, italato dibutilo, alcohol octilo, ésteres insolubles al agua de ácido carbónico, bórico y silicones.

Adhesivos: Se agregan a las mezclas de cemento portland para incrementar la adherencia entre un concreto viejo y no nuevo. Los materiales que se pueden utilizar son: hule, cloruro de polivinilo, acetato de polivinilo, acrílicos, copolímeros de butadienoestireno.

Aditivos químicos para reducir la reactividad con los álcalis: Reducen la expansión provocada por la reactividad con los álcalis. Dentro de los materiales que se pueden utilizar se tienen: escoria de alto horno (ASTM C989), puzolanas (ASTM C618), sales de litio y de bario, agentes inclusores de aire.

Aditivos para bombeo: Mejoran la capacidad de bombeo del concreto. Algunos de los materiales que se utilizan son: cal hidratada (ASTM C141), cenizas volantes

(ASTM C618), puzolanas naturales (ASTM C618), floculantes orgánicos, polímeros orgánicos y sintéticos, etc.

4.8. Control de calidad de morteros y concretos.

La palabra calidad tiene múltiples significados:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Calidad> (abril 2006)

- De un producto o servicio es la percepción que el cliente tiene del mismo.
- Conjunto de propiedades inherentes a un objeto que permiten apreciarlo como igual, mejor o peor que el resto de objetos de los de su especie.
- Conjunto de cualidades que pueden definirse como buena, mala o regular.
- **Conjunto de propiedades inherentes a un objeto que le confieren capacidad para satisfacer necesidades implícitas o explícitas.**
- Conjunto de propiedades y características (implícitas o establecidas) de un producto o servicio que le confieren su aptitud para satisfacer unas necesidades implícitas o establecidas.

La función del control de calidad existe primordialmente, como una organización de servicio, para interpretar las especificaciones establecidas por la ingeniería del producto y proporcionar asistencia al departamento de fabricación, para que la producción alcance estas especificaciones. Como tal, la función consiste en la colección y análisis de grandes cantidades de datos que después se presentan a diferentes departamentos para iniciar una acción correctiva adecuada.

Para comprender bien cada función es necesario conocer el concepto de calidad, la calidad del producto es en muchos aspectos, una característica intangible. La calidad la establece esencialmente el cliente, y se procura que el diseño y la fabricación del producto para la venta, satisfaga estos requerimientos.

Estos requerimientos de calidad del cliente los interpreta el proyectista de la obra, quien establece las especificaciones y marca las tolerancias de los materiales y procesos constructivos. La ingeniería del proceso es la responsable de la especificación de las operaciones así como del diseño y consecución del equipo, lo cual hará que el producto cumpla con las especificaciones. El personal técnico que dirige la obra utiliza este equipo para producir y la función de control de calidad asegura que el producto se fabrique conforme a las especificaciones.

Las especificaciones para el concreto están normalizadas por instituciones como la ASTM y el ACI; y en el caso de El Salvador, tales documentos son incorporadas a la Norma Técnica para Control de Calidad de los Materiales Estructurales.

Calidad de los componentes del concreto y mortero:

Cemento: debe cumplir las Normas ASTM C-150, C-595 o C-1157 y debe acopiarse en bodegas protegidas contra humedad y sobre tarimas de madera, en pilas no mayores de 10 bolsas.

Agua: debe ser potable, sin sabor, ni olor, limpia y libre de sustancias perjudiciales al concreto (álcalis, sales y materia orgánica).

Agregados: deben cumplir con la ASTM C-33, C-330; deben estar limpios, sin contaminación por materia orgánica y deben acopiarse de manera que se garanticen tales características.

Aditivos: deben atenderse las recomendaciones del fabricante y hacer mezclas de prueba con los agregados y cemento a usar en la obra. Deben cumplir con ASTM C-494, C-1017. C-618. C-989.

Calidad de la fabricación y colocación del concreto:

Dosificación de la mezcla: el concreto debe dosificarse para la resistencia a la compresión requerida por el diseño estructural e indicada en los planos del proyecto. El proporcionamiento de la mezcla debe lograr trabajabilidad, durabilidad y considerar condiciones de exposición especiales.

Revenimiento: se debe usar el "cono de Abrahams" en muestras de concreto fresco. Los resultados del revenimiento en campo deben garantizar que el concreto cumple con el revenimiento de diseño, con una tolerancia del 30%

Mezclado: deberá atenderse las especificaciones del equipo de mezcla. Debe garantizar uniformidad y evitar la segregación. El concreto premezclado debe cumplir con ASTM C-94

Transporte: deben usarse métodos que eviten segregación y/o pérdida de materiales, en una operación continua, manteniendo la plasticidad de la mezcla.

Colocación: el concreto debe depositarse lo más cerca de su ubicación final para evitar el traspaleo, exceso de vibrado u otro tipo de manejo que provoque segregación. Debe efectuarse a tal velocidad, que el concreto conserve su trabajabilidad y fluya fácilmente dentro de los moldes. La temperatura interna del concreto, al momento de la colocación debe ser de 32° C como máximo. El concreto debe consolidarse adecuadamente.

Calidad del concreto endurecido.

Ensayos de control en el concreto: se deben tomar muestras de concreto fresco para ser ensayadas de acuerdo con el "Método para ensayos de cilindros de concreto a la compresión" (designación C-39 de la ASTM).

La edad normal para ensayos de los cilindros de prueba será de veintiocho (28) días, pero para anticipar información que permitirá la marcha de la obra sin

demoras extremas, dos de los cilindros de cada ensayo serán probados a la edad de siete (7) días, calculándose la resistencia correlativa que tendrá a los veintiocho (28) días. En casos especiales, cuando se trate de concreto de alta resistencia y ejecución rápida, es aceptable la prueba de cilindros a las 24 horas, sin abandonar el control con pruebas a 7 y 28 días. Durante el avance de la obra, se podrán tomar las muestras o cilindros al azar que se consideren necesarios para controlar la calidad del concreto.

Se debería hacer una prueba de rotura por cada diez metros cúbicos de mezcla a colocar para cada tipo de concreto. Cuando el volumen de concreto a vaciar en un (1) día para cada tipo de concreto sea menor de diez metros cúbicos, se sacará una prueba de rotura por cada tipo de concreto o elemento estructural, o como lo indiquen las especificaciones Técnicas del Proyecto

Las pruebas serán tomadas separadamente de cada máquina mezcladora o tipo de concreto y sus resultados se considerarán también separadamente, o sea que en ningún caso se deberán promediar juntos los resultados de cilindros provenientes de diferentes máquinas mezcladoras o tipo de concreto. La resistencia promedio de todos los cilindros será igual o mayor a las resistencias especificadas, y por lo menos el 90% de todos los ensayos indicarán una resistencia igual o mayor a esa resistencia. En los casos en que la resistencia de los cilindros de ensayo para cualquier parte de la obra esté por debajo de los requerimientos anotados en las especificaciones, se podría ordenar o no que tal concreto sea removido, o reemplazado con otro adecuado. Cuando los ensayos efectuados a los siete (7) días estén por debajo de las tolerancias admitidas, se prolongará el curado de las estructuras hasta que se cumplan tres (3) semanas después de vaciados los concretos.

Criterios de aceptación o rechazo: se siguen los lineamientos del Comité ACI 214 que establece un criterio estadístico de aceptación de los resultados.

Ensayos no destructivos. esclerómetro (martillo Schmidt); extracción de núcleos de concreto endurecido y prueba a la compresión; pruebas de carga en elementos estructurales; estudio petrográfico en muestras de concreto endurecido (Astm C-856); módulo de elasticidad; determinación de la contracción por secado en barras de concreto, ensayo a la flexión de vigas de concreto; determinación del contenido de cemento en muestras de concreto endurecido.

Calidad del mortero.

La fabricación de morteros debe cumplir con requisitos mínimos en su fabricación y colocación:

- El agregado fino y el aglutinante son mezclados en seco, este proceso puede ser manualmente en bateas o con equipo mecanizado (máquina concretera)
- Durante el mezclado se hace la adición de algún material aditivo, para el caso de mortero fabricado con cemento portland se agrega cal, en proporción de 0.25 a 0.5 respecto al volumen de cemento, según lo

especifica la NTDCEM, para aumentar la plasticidad y trabajabilidad del mortero.

- Pueden ser adicionados diferentes tipos de aditivos según el requerimiento de propiedades especiales en el mortero.
- Al tener una mezcla homogénea en seco de los materiales, se agrega el reactivo, que generalmente es agua, pero que puede variar según el aglutinante (ej: aglutinantes epóxicos pueden reaccionar con otro reactivo).
- El tiempo de mezclado, una vez que se agrega el agua, no debe ser menor de 3 minutos, ni mayor de 10 minutos
- Al tener una mezcla uniforme y con suficiente plasticidad se procede a su aplicación, que puede ser en mampostería de bloques de concreto, ladrillos de arcilla y piedra; acabados: repellos, afinados, pegamento de ladrillo de piso, enchapados, recubrimientos; en ferrocemento y pegamento de tuberías.
- El mortero no debe ser utilizado después de 1.5 horas de su mezclado inicial

Los morteros deben cumplirse requisitos de dosificación y resistencia, para el caso de El Salvador, conforme la norma ASTM C- 270:

TIPOS DE MORTERO SEGUN ASTM C270	USO RECOMENDADO EN LA CONSTRUCCION	Resistencia a los 28 días (kg/cm ²)
M	Paredes de mampostería sujetas a cargas de compresión, severa acción de la nieve o grandes cargas laterales debidas a presiones de tierra, vientos huracanados o terremotos.	175
S	Estructuras que requieren gran resistencia a la flexión en las juntas pero que estarán sujetas únicamente a cargas normales de compresión.	125
N	Construcción de paredes interiores y de división.	54
O	Paredes no cargadas y paredes de división. Apoyos de mampostería sólida con esfuerzos admisibles de compresión no mayores a 100 psi.	25

De la tabla anterior se desprende que los morteros tipos M y S son usados en paredes estructurales y debe tenerse especial cuidado en su dosificación, conforme la Norma Técnica el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería:

Mortero	Tipo	Cemento Portland	Cemento de mampostería		Cal	Agregado
			M	S		
Cemento Portland	M	1	-	-	1/4	> 2 1/4 y < 3 veces la suma de los volúmenes separados de los materiales cementantes
	S	1	-	-	1/4 a 1/2	
Cemento de mampostería	M	-	1	-	-	
	S	-	-	-	-	

Fuente: Tomado de NTDCEM del RESESCO [1997:P.6].

Abreviaturas:

- • ASTM: American Society of Testing and Materials (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales).
- • NTDCEM: Norma Técnica para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.
- • RESESCO: Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones.

4.9. Cálculo de cantidades de materiales.

Para calcular cantidades de materiales por revoltura o por metro cúbico de mortero/concreto, se debe conocer el aporte sólido de los componentes, a través del concepto COEFICIENTE DE APORTE, definido como:

$$K = V_s/V \quad (\text{Ec } 1)$$

Donde:

K = coeficiente de aporte

V_s = volumen sólido del componente

V = volumen total o aparente.

$$V = V_s + V_v \quad (\text{Ec } 2)$$

Donde V_v = volumen de vacíos

El coeficiente de aporte de un componente se relaciona íntimamente con los conceptos de peso volumétrico P_v y Peso Específico P_e:

$$P_v = W/V \quad (\text{Ec } 3)$$

$$P_e = W/V_s \quad (\text{Ec } 4)$$

De Ec 3 se tiene $V = W/P_v$

De Ec. 4 se tiene $V_s = W/P_e$

Sustituyendo en la Ec, 1:

$$K = V_s/V = (W/P_e)/(W/P_v)$$

$$K = P_v/P_e \quad (\text{Ec. } 5)$$

TABLA DE COEFICIENTES DE APORTE (K)

Arena gruesa (naturalmente humeda)	0.63
Arena Mediana (naturalmente humeda)	0.60
Arena gruesa seca	0.67
Arena fina seca	0.54
Cal en pasta	1.00
Cal en polvo	0.45
Canto rodado o grava	0.5 a 0.66
Cemento Portland	0.47
Cemento Blancos	0.37
Mármol granulado	0.52
Piedra partida	0.51

PESOS ESPECIFICOS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION (Kg./m3)

Arena seca	1450
Arena naturalmente húmeda	1650
Arena muy mojada	2000
Cal viva en terrones	900-1100
Cal hidráulica viva, en polvo	850-1150
Cal en pasta	1300
Cemento Pórtland	1200-1400
Cemento Blanco	1100
Canto Rodado (Grava)	1750
CONCRETO armado	2400
CONCRETO SIMPLE	2000 - 2200
Ladrillos de barro artesanales	1350-1600
Ladrillos de barro industriales	1580
Mampostería de Piedra	2250
Mármol	2700-2800
Mortero de Cal y Arena fraguado	1650
Mortero de Cemento, Cal y Arena fraguado	1700-1900
Porcelana	2400
Tierra arcillosa seca	1600
Tierra Húmeda	1850
Yeso en polvo	1200

El volumen sólido del concreto endurecido no es igual a la suma de los volúmenes aparentes de sus componentes, pues existe la densificación de las partículas y el efecto del aire atrapado.

Considerando que se tiene una dosificación en volumen

$$1 : a : g$$

Esta relación significa que por Una parte de cemento se mezclan "a" partes de arena y "g" partes de grava; entonces, para un determinado Volumen total o aparente de cemento a usar (V_c), se tendrían que mezclar:

Volumen total o aparente de arena a mezclar: $V_a = a V_c$

Volumen total o aparente de grava a mezclar: $V_g = g V_c$

Conociendo los coeficientes de aporte por pruebas de laboratorio:

K_c = coeficiente de aporte del cemento

K_a = coeficiente de aporte de la arena

K_g = coeficiente de aporte de la grava

El volumen sólido del concreto endurecido será:

$$V_{s \text{ concreto}} = K_c (V_c) + K_a (V_a) + K_g (V_g) \quad (\text{Ec } 6)$$

Pero como existen vacíos al interior del concreto generados por aire atrapado y poros, (V_v) el volumen aparente o total del concreto endurecido sería:

$$V_{\text{concreto}} = V_{s \text{ concreto}} + V_v$$

Si se expresa el volumen de vacíos en términos de un porcentaje α del volumen sólido:

$$V_v = \alpha V_{s \text{ concreto}}$$

$$V_{\text{concreto}} = (1 + \alpha) V_{s \text{ concreto}} \quad (\text{Ec } 7)$$

Conocidos los aportes sólidos de los componentes y estableciendo un volumen de vacíos razonable para el concreto endurecido, se pueden calcular las cantidades de materiales para un metro cúbico de concreto:

De la Ec 7:

$$V_{s \text{ concreto}} = V_{\text{concreto}} / (1 + \alpha) \quad (\text{Ec } 8)$$

Sustituyendo en Ec 6:

$$V_{\text{concreto}} / (1 + \alpha) = K_c (V_c) + K_a (V_a) + K_g (V_g)$$

$$V_{\text{concreto}} = (1 + \alpha) [K_c (V_c) + K_a (V_a) + K_g (V_g)] \quad (\text{Ec } 9)$$

Sabiendo que $V_a = a V_c$ y $V_g = g V_c$ y sustituyendo en la Ec 9:

$$V_{\text{concreto}} = (1 + \alpha) [K_c (V_c) + K_a (aV_c) + K_g (gV_c)]$$

$$V_{\text{concreto}} = (1 + \alpha) V_c [K_c + K_a (a) + K_g (g)] \quad (\text{Ec } 10)$$

De donde se puede despejar la variable V_c (volumen aparente de cemento a usar para un volumen V de concreto endurecido):

$$V_c = V_{\text{concreto}} / (1 + \alpha) [K_c + K_a (a) + K_g (g)] \quad (\text{Ec } 11)$$

Conocida la cantidad V_c es fácil calcular V_a y V_g a través de la relación volumétrica 1:a: g:

$$\begin{aligned} V_a &= aV_c \\ V_g &= gV_c \end{aligned}$$

Ejemplo:

Dosificación volumétrica: 1:2:3,

Volumen de vacío 10% del volumen sólido del concreto

Ahora para obtener el volumen sólido de la mezcla hay que recurrir a los coeficientes de aportes antes indicados

$$V_c = 1 \times 0.47 = 0.47 \text{ u}^3$$

$$V_a = 2 \times 0.67 = 1.34 \text{ u}^3$$

$$V_g = 3 \times 0.5 = 1.50 \text{ u}^3$$

$$V_{\text{S concreto}} = 3.31 \text{ u}^3$$

Considerando un 10% de vacíos: $V_v = 0.33 \text{ u}^3$

$$V_{\text{concreto}} = 3.64 \text{ u}^3$$

Cantidad de materiales para un metro cúbico de concreto endurecido

$$V_{\text{concreto}} = 1.0 \text{ m}^3; \alpha = 0.1$$

$$V_c = V_{\text{concreto}} / (1 + \alpha) [K_c + K_a (a) + K_g (g)] \quad (\text{Ec } 11)$$

$$V_c = 1 \text{ m}^3 / 3.64 \text{ m}^3 = 0.2747 \text{ m}^3 \text{ de cemento } \sim 9.7 \text{ bolsas}$$

$$V_a = a V_c = 2 (0.2747 \text{ m}^3) = 0.549 \text{ m}^3 \sim 0.55$$

$$V_g = g V_c = 3 (0.2747 \text{ m}^3) = 0.824 \text{ m}^3 \sim 0.82$$

Por lo tanto para hacer 1 m³ de concreto 1:2:3, considerando un 10% de vacíos, se requieren de 9.7 bolsas de cemento; 0.55 m³ de arena en bruto y 0.82 m³ de grava.