

QUE TAN PRONTO ES LO SUFICIENTEMENTE PRONTO.

Bryant Mather*

RESUMEN

El criterio estándar para establecer los grados de calidad del concreto estructural, es la resistencia a la compresión, medida arbitrariamente en un espécimen estandarizado, almacenado de una manera estipulada por aproximadamente un mes después de haber sido hecho. En algunas partes del mundo el espécimen es un cubo y en otras es un cilindro. Ha habido extensos debates con respecto a cuál forma se debe preferir. Recientemente se ha discutido con respecto a cómo se puede predecir la resistencia a los 28 días, a partir de procedimientos llevados a cabo a edades tempranas especialmente a 24 hr., en base a que en un mes no es lo suficientemente pronto. El intento de este trabajo es sugerir que el único tiempo que en realidad es "suficientemente pronto" para saber que la calidad del concreto es la adecuada, es antes de que el concreto sea descargado de la revolvedora a la sombra. Se sugiere por lo tanto, que el esfuerzo debería ser empleado preferentemente en asegurarse que los materiales usados y los proporcionamientos en que se usan sean aquellos que se intentaron. Si éste es el caso, la calidad del concreto será apropiada a todas las edades y el ensayarlo a cualquier edad es meramente una confirmación.

Jefe del Laboratorio de Concreto, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, en Vicksburg, Miss.

INTRODUCCION.-

Los códigos de construcción de concreto que se usan amplia y generalmente, forman parte de la "ley de la tierra" en muchos lugares, establecen lo que se debe hacer para evitar problemas en el uso del concreto. Existe poca, si acaso, necesidad de un nuevo enfoque para evitar nuevos problemas, en el sentido de buscar algo diferente de lo que ya se requiere, como sucede, por ejemplo, en el Código de Construcciones ACI.

REGLAMENTOS.-

El Reglamento para la Construcción de Edificios de Concreto Reformado ACI 1971 especifica, entre otras muchas cosas, que:

- a. "El cemento deberá cumplir con... "Las especificaciones ASTM (3.2.1).
- b. "...los agregados deberán cumplir con... "Las especificaciones ASTM (3.3.1).
- c. "Los ensayos de los materiales y del concreto se deberán realizar de acuerdo con las normas de la ASTM... las memorias de los ensayos deberán estar accesibles... por 2 años..." (3.1.1).
- d. "El cemento usado en la obra deberá corresponder a aquél que se usó para hacer el proporcionamiento". (3.2.2).
- e. "El cemento y los agregados se deberán almacenar de tal manera que se evite su deterioro y su contaminación con materias extrañas." (3.7).
- f. "El concreto se deberá proporcionar y elaborar para arrojar la resistencia a la compresión promedio suficientemente alta, para minimizar la frecuencia de ensayos de resistencia por debajo del valor de la resistencia a la compresión especificada del concreto (f'_c)." (4.1.1).
- g. "Los proporcionamientos deberán seleccionarse para producir la resistencia promedio a la ... edad del ensayo excediendo f'_c por la cantidad indicada cuando, tanto el contenido de aire como el revenimiento, sean los máximos permitidos." (4.2.2). "valor indicado" varía desde 28 hasta 84 kg/cm^2 (400 a 1200 lb/pulg^2) dependiendo de la naturaleza y la facilidad de obtener datos de la desviación estándar de los resultados de los ensayos de resistencia, correspondientes a la producción de concreto de que se trate.
- h. "Si no se pueden obtener datos adecuados de mezclas experimentales o experiencia de campo... tómesese como base para los proporcionamientos del concreto, los límites de la relación agua-cemento de la tabla 4.2.4..." que por ejemplo, requiere una relación agua-cemento que no exceda de 0.35 en peso (17.5 lb/Bto) para concreto con aire incluido de un $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ (4000 lb/pulg^2).

les o experiencia de campo... tómesese como base para los proporcionamientos del concreto, los límites de la relación agua-cemento de la tabla 4.2.4..." que por ejemplo, requiere una relación agua-cemento que no exceda de 0.35 en peso (17.5 lb/Bto) para concreto con aire incluido de un $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ (4000 lb/pulg^2).

- i. "Los requisitos para el f'_c se deberán basar en ensayos de cilindros elaborados y probados de acuerdo con los métodos de la ASTM... a menos que se especifique en otra forma, el f'_c se basará en ensayos a los 28 días." (4.3.1, 4.1.4).
- j. "Las muestras para los ensayos de resistencia... deberán tomarse cuando menos una vez al día y no menos de una por cada 115 m^3 (150 cu yd) de concreto o por cada 465 m^2 (5000 pies^2) de área superficial colada... Cada resultado de ensayo deberá ser el promedio de dos cilindros de la misma muestra ensayada a los 28 días" (4.3.1).
- k. "El nivel de resistencia se considerará satisfactorio si los promedios de todos los lotes de tres resultados consecutivos de ensayos de resistencia son iguales o exceden al valor de f'_c y ningún resultado de alguna prueba resulte por debajo de f'_c en más de 35 kg/cm^2 (500 lb/pulg^2)" (4.3.3).
- l. "La construcción de concreto deberá inspeccionarse a lo largo de las diversas etapas de la obra por un ingeniero o arquitecto competente, o por un representante competente bajo su responsabilidad." (1.3.1).
- m. El supervisor deberá ... llevar una memoria que incluya: calidad y proporciones de los materiales; mezclado, colado y curado del concreto;..." (1.3.1).

Yo reconozco que si el cemento y agregados se ensayan usando los métodos de la ASTM correspondientes y se encuentra que satisface las respectivas especificaciones de la ASTM; si se almacenan debidamente; si los materiales que se usan en la obra corresponden a aquéllos usados en la selección del proporcionamiento de la mezcla; si las proporciones de la mezcla se escogieron como se deseaban y si el concreto se elabora de acuerdo a las proporciones escogidas, debidamente mezclado y muestreado, entonces no existe una probabilidad significativa de que los resultados de un ensayo de resistencia bien realizado, arroje resultados que no sean satisfactorios.

Los resultados de los ensayos pueden llegar a ser satisfactorios y el concreto en la estructura puede no ser satisfactorio o viceversa; si los ensayos se hacen con muestras no representativas del concreto de la estructura. Esto puede suceder si el concreto que se usa en la elaboración de los especímenes es diferente del que se usó en la estructura, o si el concreto que se usó en la estructura no se compactó y curó debidamente.

Se le ha estado dando una gran atención al perfeccionamiento de los métodos para descubrir más rápida y fielmente, qué tan malo es el concreto de la estructura y mucho menos atención parece dársele, al perfeccionamiento de los métodos para asegurarse que el concreto de la estructura no vaya a ser malo. Permítanme repasar con ustedes un diálogo que tuve referente a las prácticas en el Reino Unido.

ESPECIFICACIONES DEL REINO UNIDO.-

En julio de 1973, se reportó que el Director General de la Asociación del Cemento y del Concreto del Reino Unido había dedicado la introducción de un reporte anual de la Asociación para el año 1972, al tópico de la mejor manera de especificar el concreto para asegurar una durabilidad satisfactoria.

El declaró que la durabilidad del concreto depende de la impermeabilidad de la pasta de cemento. También argumentaba que la única manera de asegurar el grado necesario de permeabilidad de la pasta para una particular durabilidad requerida, es especificar un contenido mínimo de cemento para la mezcla.

Hizo notar que existe una escuela de ideas que argumentan que la durabilidad requerida, debe expresarse en términos de resistencia a la compresión, en lugar de un contenido mínimo de cemento. Sin embargo, sostuvo que la relación entre la resistencia y la durabilidad es indirecta e imprecisa, de modo que un margen de seguridad se vuelve necesario, si los grados de resistencia se fueren a usar con este propósito, y esto podría conducir a un excesivo y antieconómico uso del cemento, y por lo tanto incrementando el costo de la construcción de concreto. Sin un margen de seguridad, habría un riesgo serio de durabilidad inadecuada.

Mi reacción hacia esto, fue que ambas escuelas de ideas hablaban de durabilidad en algún sentido diferente de lo que ese término significa para mí. Así que recurrí al Manual del Código Unificado para Concreto Estructural (Cp 110, 1972) de la C & C A y leí ahí (6.3.3) "El propósito de especificar un contenido mínimo de cemento es para garantizar la durabilidad." Agrega que la alternativa de enfocar, hacia limitar la relación agua-cemento, no se ve favorecida por los problemas prácticos de su observancia.

Después obtuve una copia de un reporte de la Asociación Británica de Concreto Premezclado acerca de "Especificaciones para la durabilidad del concreto" (BRMCA; 1973). Sugiere que, en lugar de especificar la durabilidad en términos de contenido mínimo de cemento, sería preferible hacerlo en función de la máxima resistencia a la compresión. Este concepto estaba cuidadosamente elaborado en este reporte. Se hizo ver que la BRMCA y la C & C A estaban de acuerdo en que la "durabilidad", como ellos la estaban discutiendo, depende principalmente de que el concreto tenga una pasta de baja permeabilidad al agua, la cual se garantiza teniendo una mezcla con una relación agua-cemento adecuadamente baja. El reporte exploró cinco relaciones:

- Permeabilidad y Relación Agua-Cemento.
- Resistencia a la Compresión y Relación Agua-Cemento.
- Resistencia a la Compresión y Permeabilidad.
- ~~Relación Agua-Cemento y Contenido de Cemento.~~
- Contenido de Cemento y Permeabilidad.

La conclusión a que se llegó, fue que la resistencia a la compresión se prefiere sobre el contenido de cemento como base para controlar la relación agua-cemento (-que, a su vez, controla la permeabilidad - que a su vez, controla la "durabilidad") porque, entre otras razones, la determinación de la resistencia se basa en un método de ensaye "simple, largo y aceptado" mientras que "no existe ningún medio simple y rápido para medir la cantidad de cemento (o de agua) en una mezcla de concreto."

QUE TAN PRONTO ES SUFICIENTEMENTE PRONTO

Este es un ejemplo de la preferencia por un ensaye que únicamente se puede hacer después de que se haya endurecido el concreto, sobre un ensaye que podría hacerse antes de colar el concreto.

Comentando esto, escribí que no estaba de acuerdo con que no existen medios simples, rápidos y de bajo costo para medir las cantidades de cemento y agua en una mezcla. Existen básculas que pueden medir, con cualquier grado razonable de precisión deseado, las cantidades de los materiales que se usan en una mezcla de concreto. Muchas plantas premezcladoras tienen básculas completamente adecuadas. Los tanques de agua de los camiones revolvedores tienen medidores. Muchos medidores de los tanques de agua de los camiones revolvedores, son completamente adecuados para medir la cantidad de agua que se agrega a la mezcla de concreto después de una mezcla previa en la planta. Existen medios con los que uno puede medir el contenido de agua de los agregados. Por lo tanto, no hay una razón técnica o tecnológica para no conocer las cantidades de cemento y agua en una mezcla de concreto. Si en efecto, uno no sabe, es porque uno no ha requerido que se proporcionen los medios para que se usen en lo que uno desea saber, o uno no ha respaldado los requerimientos que uno mismo ha impuesto.

Le llevé este punto de vista a Fred Bartel, como director del Sub-Comité de Especificaciones para Concreto Premezclado del Comité ASTM C-a, a la reunión celebrada durante la primera semana de diciembre de 1973 en Florida, y Fred dijo que él sabe exactamente cuánto cemento y qué cantidad de agua se han añadido en todas las mezclas hechas por su compañía, con la única salvedad de que no han tenido un buen método para conocer la humedad de los agregados como se desearía.

Hice estas observaciones, porque vi con desagrado el uso, tanto de contenido de cemento como de resistencia como base para controlar las propiedades del concreto. No estoy de acuerdo con el uso del contenido de cemento porque es ampliamente falible. Para un contenido de cemento de 356 kg/m^3 (600 lb/yd^3) de cemento portland normal, uno puede tener resistencias desde 140 kg/cm^2 (2000 lb/pulg^2) hasta 420 kg/cm^2 (6000 lb/pulg^2) dependiendo de la relación, agua-cemento, siendo todo lo demás igual excepto el revenimiento.

Tampoco me inclino particularmente hacia el uso de la resistencia, como base para controlar la durabilidad o cualquiera otra propiedad, porque cuando se haya medido la resistencia ya es muy tarde para controlar el concreto cuya resistencia se está midiendo. Por eso me inclino más hacia controlar el concreto teniendo conocimiento de lo que la mezcla contiene antes de colar.

Muchos le han dado atención, de vez en cuando, a los métodos con los cuales uno puede tomar muestras de concreto mezclado, como por ejemplo de un camión revolvedor, y efectuar operaciones con él suficientemente rápidas para obtener respuestas antes de que el resto de la mezcla se descargue, y se cuele. En la actualidad, requerimos que los ensayes de revenimiento y de aire incluido se hagan en esta forma. Otros han trabajado extensamente en sistemas que involucran más sofisticados enfoques hacia los ensayes, especialmente usando técnicas nucleares para estimar el contenido de cemento o de agua o de ambos en la mezcla. Tales métodos merecen ser estudiados y si se desarrollan, no hay duda que tendrán su lugar; pero en mi opinión éstos no serían necesarios, si uno supiera la composición de la mezcla antes de que el camión siquiera llegue a la obra, y como ya dije, creo que es para esto que existe la tecnología. Si uno tiene confianza en que la revolvedora contiene una masa dada de agregado, una masa dada de cemento, y una masa dada de agua, la medición del revenimiento y del contenido de aire, deben ser todo lo que uno necesita saber antes de descargar la mezcla en las formas, para tener suficiente confianza en que los requisitos de resistencia y durabilidad se cumplan, su poniendo únicamente que el subsecuente transporte, colado, compactado y curado se conduzcan de acuerdo con las normas generales de una buena práctica.

Le envié una copia de los anteriores comentarios a Bob Philleo, Su respuesta incluye el siguiente párrafo:

Aunque estoy de acuerdo con tu punto de vista, debo evadir la impresión de que la adecuabilidad estructural y la durabilidad, pueden garantizarse por completo por inspección previa al colado. Con el riesgo de parecer reaccionario, quiero apoyar el ensayo de resistencia. En el proyecto de una esclusa en el Río Ohio, demolimos 2,300 metros cúbicos (3,000 yardas cúbicas) de concreto de baja calidad, que había pasado la inspección previa al colado con todo éxito. Lo que debió haber sucedido, dirías tu, es que el cemento y la ceniza en su almacenamiento, estaban separados por una sola lámina de acero y la soldadura que soportaba al tabique divisorio se había roto a lo largo de más de un metro, de tal manera que la tolva se contaminó seriamente con ceniza. Nunca se le ocurrió a nadie que la soldadura necesitara inspección. Aunque hemos corregido ese problema en particular en nuestras especificaciones, nadie sabe qué otros accidentes puedan aparecer en el futuro. Creo que el diseñador merece seguridad de que eso que se encuentra en las formas va a desarrollar resistencia. Tengo entendido, sin embargo, que esta seguridad puede darse en 24 horas."

CONCLUSION.-

El tiempo para saber que la mezcla de concreto contiene las cantidades apropiadas de cada tamaño de agregado, de cemento, de agua y de cada aditivo solicitado por el proporcionamiento, es cuando se introducen los ingredientes a la revolvedora; no más tarde.

El tiempo para saber que la resistencia no será baja debido al exceso de aire incluido, es cuando se efectúa la prueba de contenido de aire o cuando la textura de la mezcla es juzgada por el inspector; no más tarde.

El tiempo para estar seguros de que la resistencia no estará baja debido a un excesivo contenido de agua inadvertido, es cuando se efectúe la prueba de revenimiento o sea juzgado éste por el inspector; no más tarde.

El tiempo para estar superasegurados de que todo está bien, es cuando estén listos los resultados de las pruebas aceleradas de resistencia a las 24, 28 1/2 o 49 horas después de colados los especímenes, dependiendo de los procedimientos de la designación ASTM C 684 (ASTM 1973) que uno haya elegido; no más tarde.

Traducción: Ing. Carlos Macías Campirán.
Revisión de traducción: Ing. Raymundo Rivera Villarreal

EL FERROCEMENTO Y SUS POSIBLES APLICACIONES EN MEXICO.

José Castro Orvañanos*
Carlos Javier Mendoza*
Alberto Fuentes**
Enrique Erazo**

RESUMEN

Aunque el ferrocemento fue ideado desde fines del siglo pasado, a la fecha se ha usado poco y el conocimiento que sobre él se tiene es bastante limitado.

Por lo tanto, la idea central de este trabajo es resaltar las grandes posibilidades que tiene su aplicación en la República Mexicana, así como la necesidad de estudiarlo más a fondo para conocerlo mejor.

Se presenta necesariamente una introducción que involucra desde la descripción del propio material, las experiencias obtenidas en algunos países y las conclusiones que a través de ellas se tienen.

Se comentan las diversas aplicaciones posibles en la República Mexicana y se presenta el estudio realizado en el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. sobre el comportamiento bajo tensión, que incluye la descripción de las pruebas desarrolladas, los resultados obtenidos y conclusiones.

* Profesor investigador, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.
** Ayudante investigador, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.