



La Villa Saboye de Le Corbusier



La aparición del concreto armado a finales del siglo XIX trajo consigo una revolución en la construcción mundial en la que hoy, gracias a los adelantos de la técnica, seguimos avanzando. Las grandes rupturas originadas por el movimiento moderno en la arquitectura fueron ocasionadas en gran parte por la necesidad de incorporar a esta disciplina los beneficios de los adelantos tecnológicos que trajo consigo la revolución industrial en Europa.

En esta ocasión nos remontaremos a los inicios del siglo XX para recordar a uno de los maestros de la arquitectura que revolucionaron la concepción de este arte haciendo uso del concreto armado; Charles-Edouard Jeanneret, mejor conocido como Le Corbusier.

La materialización de los cinco postulados lecorbusianos

Hablar de este gran arquitecto es recordar sus cinco postulados para una arquitectura moderna: los pilotes, la estructura independiente, la planta libre, la fachada libre y la terraza jardín. Agudo analista de su tiempo, Le Corbusier sintetizó en estos puntos la aplicación de los adelantos tecnológicos de su época, sustentados en la filosofía del vasto movimiento intelectual del que formó parte, cuyos principales postulados fueron publicados en sus célebres artículos de la revista *L'Esprit Nouveau*.

La Villa Saboye, ubicada en Poissy, es una de

Resumen:

En esta época de vertiginoso avance tecnológico que vivimos, en la que parece a veces que el hombre ha perdido el control de sus propias creaciones, la obra de este gran maestro sigue siendo un referente en la búsqueda de opciones para aprovechar los adelantos de la modernidad y ponerlos al servicio de una mejor calidad de vida. La Villa Saboye es un ejemplo de lo que puede lograr la creatividad humana cuando la orienta una reflexión profunda y un interés positivo.

Aquí! 

las obras maestras de la arquitectura moderna en la que se conjuga magistralmente el legado de Le Corbusier. Abandonada durante la segunda guerra mundial, estuvo en riesgo de ser demolida en 1958, lo que fue impedido gracias a un movimiento internacional y a la intervención del entonces ministro de Cultura de Francia, André Malraux, quien la declaró monumento histórico en 1965. Hoy, la que fuera casa del matrimonio Saboye es visitada y admirada por estudiantes, arquitectos y el público en general.

Esta casa forma parte del grupo de villas blancas que el célebre arquitecto construyera durante los años veinte a personas de alto nivel económico. Se edificó con la más pura simplicidad gracias a que los clientes estaban, según palabras del propio Le Corbusier, “desprovistos totalmente de ideas preconcebidas; ni antiguas, ni modernas. Su idea era simple: ellos tenían un magnífico entorno boscoso; deseaban vivir en el campo; estaban a 30 km de París en auto”. Pero antes de recordar la descripción de la Villa Saboye en sí, es interesante recordar sus antecedentes que nos refieren al esquema de la casa dominó; célula habitacional con la que Le Corbusier dio a conocer al mundo sus postulados acerca de la arquitectura moderna.

El esquema de la casa dominó como respuesta a una nueva realidad

El siglo XIX se distinguió de los precedentes por la gran cantidad de inventos que durante él se gestaron y constituyeron materia prima para las vanguardias de principios del XX. La era industrial trajo como resultado la producción en serie, que en arquitectura se tradujo en ciudades industriales en las que se perdió la identidad del individuo al tipificar su hábitat. A esta pérdida de relación natural entre la vivienda y el hombre, Le Corbusier responde con el esquema de la casa dominó, donde plantea que la industrialización de la arquitectura, si es ideada con sentido humano,

puede conducir a resultados satisfactorios no sólo funcionalmente sino estéticamente.

El esquema de la casa dominó se compone de elementos prefabricados donde la estructura es completamente independiente de la organización interna de la vivienda; plataformas planas sostenidas por pilotes y comunicadas por rampas componen el esqueleto. Esto nos es totalmente familiar en nuestros días, pero sabemos que en su época causó revuelo mundial ya que la solución de la casa-habitación era tratada como un problema completamente nuevo; era reinventada en función de una nueva civilización con posibilidades técnicas en la que el concreto armado jugó y sigue jugando un papel primordial; respondía a necesidades económicas imperantes en la época que al pasar de los años se han intensificado; sugería la posibilidad de organizar barrios enteros bajo este esquema sin ser repetitivo gracias a su flexibilidad; y aunque estos barrios compuestos por casas dominó se quedaron en proyecto, fueron, según el propio Le Corbusier relata, “experimentos que permitieron desarrollar sus posteriores ideas en torno al urbanismo”, ideas que se plasmaron en obras tales como las unidades habitacionales de París, Marsella y Berlín.

Funcionalidad, naturaleza y estética en la Villa Saboye

Del diseño de la casa dominó surgió la serie de villas blancas mencionadas a las que pertenece la Villa Saboye. Esta casa, además de cumplir con todos los postulados lecorbusianos, fue concebida para llegar a ella en automóvil, y por eso el radio de giro mínimo de un auto es la condición fundamental de la que parte su esquema compositivo. En la planta baja se encuentran los servicios comunes y el garaje, todo ello contenido en la curva dictada por el movimiento del auto y rodeada por los pilotes que soportan la estructura superior.

Otra condición esencial es el respeto por el entorno. Dice Le Corbusier que “la hierba es bella; el bosque también. Se le tocará lo menos posible. La casa se posará como un objeto al centro de la hierba sin destruir nada. Sin embargo –continúa–, la hierba es húmeda, malsana para vivir; en consecuencia, el verdadero jardín de la casa no estará sobre el suelo, sino a tres metros cincuenta; será un jardín suspendido donde el sol es seco y saludable; desde donde se podrá admirar el paisaje en su totalidad, mucho mejor que desde abajo”.

Regresando a la planta baja, al ascender por la rampa se llega al solarium y al resto de las habitaciones. Conforme se recorre este nivel, se van descubriendo los espacios. Esta enseñanza de apreciar la arquitectura al recorrerla la toma de los árabes, lo que le da gran diversidad de encuentros con sensaciones inesperadas al pasar de un ambiente a otro.

La Villa Savoye se encuentra en Poissy, ciudad prácticamente conurbada con París. Es custodiada por la Fundación Le Corbusier, que tiene su sede en otra de las célebres casas del afamado arquitecto suizo nacionalizado francés: la Villa La Roche, en la capital gala. Aunque la urbe se ha comido al bosque, esta casa goza de una amplia extensión de terreno que la hace lucir como la idea de su creador, posada sutilmente en medio de la hierba.

Recordar esta obra no sólo por su valor estético sino por ser la materialización de toda una serie de reflexiones en torno a una época donde la tecnología comenzaba a ocupar un lugar preponderante en la concepción de la arquitectura, nos conduce a reflexionar acerca de nuestra realidad actual. Vivimos un proceso cada vez más acelerado de tecnificación; saber aprovecharlo positivamente con sentido humano nos conducirá, como dijera Charles Edouard Jeanneret a principios del siglo XX, a resultados

satisfactorios no sólo funcionalmente sino estéticamente.

**Instituto Mexicano del Cemento y del
Concreto, A.C.**
Revista Construcción y Tecnología
Febrero 2000
Todos los derechos reservados

[ARTICULO
ANTERIOR](#)



[ARTICULO
SIGUIENTE](#)



Hacia un Concreto Ecológico



Veinte por ciento de la población mundial consume 80 por ciento de las materias primas. No es posible la elevación del nivel de vida de una gran parte de la humanidad si no se extraen más materias primas, algunas de las cuales son cada vez más raras. Por eso, los recursos deben explotarse pensando en el largo plazo; es decir, hay que satisfacer las necesidades actuales sin descuidar las de las generaciones futuras. De una amplia visión de conjunto de la situación del medio ambiente en Suiza,² se pueden extraer los siguientes datos:

Más de 50 por ciento del consumo de energía y de las emisiones de gas con efecto de invernadero provenientes principalmente de los procesos de combustión, se deben al tránsito y a las necesidades del hogar.

El tránsito por carretera consume alrededor de 70 por ciento de la energía final utilizada para el conjunto del tránsito.

Aproximadamente 50 por ciento de las distancias cubiertas por persona y por día lo son mediante el transporte, sobre todo motorizado, utilizado para actividades del tiempo libre. En 1994 el transporte público cubrió alrededor de 20 por ciento de estas distancias, y al automóvil particular correspondió aproximadamente 65 por ciento.

Es pues necesario reducir al mínimo los daños al medio ambiente debidos al tránsito y a las

Resumen:

Como eco de la creciente preocupación por el impacto de los materiales y elementos de construcción sobre el medio ambiente, en la construcción con concreto se han desarrollado procedimientos ecológicos para reducir el riesgo al mínimo. El artículo que aquí presentamos aporta valiosa información sobre el tema así como interesantes datos de la operación de esta industria en Suiza.

Aquí! 

necesidades del hogar. Con respecto a esto último, es preciso vigilar el impacto de la construcción y el mantenimiento sobre el medio ambiente (ecología).

De acuerdo con la referencia 3, la construcción ecológica comprende varios aspectos:

Elección del lugar, concepción, forma y situación de la construcción, elección de los materiales de construcción en función del medio ambiente y del consumo de energía.

Programa de exigencias funcionales, organización interna, sistemas técnicos de construcción.

Inclusión de la vegetación con el objeto de

a) minimizar las necesidades energéticas y de recursos para la construcción y la utilización de edificios;

b) favorecer la utilización de sistemas naturales y de recursos renovables;

c) evitar la contaminación del medio ambiente;

d) tener el menor número posible de superficies impermeabilizadas;

e) integrar las construcciones de modo que armonicen con el paisaje.

El presente artículo está basado en gran parte, en la documentación SIA D 0146,¹ la cual contiene información tanto básica como detallada para evaluar el impacto del concreto sobre el medio ambiente. Esta documentación ha sido escrita por el grupo de trabajo "Impacto del concreto sobre el medio ambiente" de la Comisión para la norma SIA 162 "Obras de concreto". Este grupo de trabajo está

compuesto por representantes de la industria, de escuelas superiores y de la OFEFP.

Flujo de los materiales del concreto

Actualmente se producen alrededor de 20 millones de toneladas de concreto al año, para lo que se utilizan las materias primas mencionadas en la **tabla 1**. Las distancias usuales del transporte del concreto y de sus constituyentes figuran en la **tabla 2**.

Cementos

El cemento contiene clinker, aditivos minerales y yeso, que sirven para regular su solidificación. Los constituyentes para un 1 kg de clinker –aproximadamente 1.5 kg de calizas y de arcilla molida– se calcinan (parcialmente fundidos) a aproximadamente 1,450 °C durante un lapso de 15 a 20 minutos. Puesto que las cenizas que provienen de los combustibles se integran al clinker, no existen desechos. Las materias primas, así como los combustibles incinerados, deben utilizarse en cantidades que permitan obtener una composición determinada de clinker (**figura 1**). Para la fabricación de 1 kg de clinker portland se utilizan aproximadamente 120 g de carbón o 3.6 MJ. El costo de los combustibles representaba, en otro tiempo, aproximadamente un tercio del costo de producción. Esta es la razón de que en el curso de los últimos decenios se haya trabajado intensamente para reducir el consumo de energía.

En Suiza, las emisiones de CO₂ debidas a la producción de clinker representan apenas 8 por ciento. Por cada tonelada de cemento, se emiten aproximadamente 500 kg de CO₂ provenientes de la harina cruda (eliminada por la piedra caliza); aproximadamente 380 kg de CO₂ provenientes de los combustibles.

Para la producción de clinker, la industria del cemento reemplaza cada vez más la harina cruda y los combustibles tradicionales por materiales de sustitución apropiados. La razón de esto son las emisiones, el elevado costo de los combustibles y los esfuerzos tendientes a utilizar los recursos de manera cada vez más razonable. En un documento básico de la OFEFP se formulan otras exigencias relativas a la eliminación de desechos en las fábricas de cemento:⁴

"Los desechos pueden eliminarse en las cementeras, a condición de que este método

respete más el medio ambiente que cualquier otro tipo de eliminación

esté de acuerdo con la planificación cantonal y federal de los desechos

no entre en conflicto con una administración más ecológica de los recursos "

La directiva de la OFEFP respecto a la eliminación de desechos en las cementeras incluye valores indicativos para el contenido de sustancias contaminantes en el clinker o en el cemento portland. Allí se encuentran igualmente exigencias relativas a las concentraciones de metales pesados en los materiales secundarios y en el clinker (**tabla 3**).

Estas exigencias se sitúan entre los valores indicativos para una zona de excavación no contaminada y para una zona de excavación tolerable (muy poco contaminada). Los combustibles secundarios pueden tanto disminuir muy levemente los contenidos de metales pesados en el cemento como aumentarlos.

La utilización de desechos no reduce

necesariamente las emisiones y el consumo de energía en las cementeras. Sin embargo, 51,000 toneladas de combustibles secundarios que representan, en total, un valor calorífico de aproximadamente 3,700 TJ, permitieron en 1998 cubrir 36 por ciento de la energía térmica necesaria para la fabricación de clinker, es decir, que sustituyeron las cantidades correspondientes de combustibles tradicionales tales como petróleo y carbón.

Al mismo tiempo, se ha reducido la importación (transporte) de combustibles, así como la extracción de materias primas.

Transporte del cemento

En Suiza, el cemento se transporta la mitad por ferrocarril y la mitad por carretera; 93 por ciento se transporta en bruto (1998) y el resto en sacos.

La eccema del cemento

Trabajar con cemento húmedo o con concreto fresco sin tomar las debidas precauciones puede provocar irritaciones en la piel.⁷ Esto se debe al elevado nivel de pH, es decir, al contenido en cromato del orden de 10 ppm (g / t) de los cementos portland.

Agregados

Las reservas de arena y grava de Suiza potencialmente utilizables son del orden de varios miles de millones de toneladas. Estas reservas disminuyen continuamente (**figura 2**) ya que solamente 1 por ciento de la cantidad extraída cada año para la construcción (50 millones de toneladas), es reemplazado por procesos naturales. Basándose en el consumo actual de arena y grava, se puede estimar que las reservas serán todavía suficientes para al menos 50 años. De todas maneras, existen

actualmente en diferentes partes dificultades de aprovisionamiento entre nosotros y en el extranjero.

Sin embargo, no necesariamente deberemos padecer una escasez general de grava en Suiza. Esto, entre otras razones, por las siguientes:

Declinación de la construcción en más de 30 por ciento de 1990 a 1996.

Recuperación anual de 0.3 millones de toneladas de agregados en los camiones de transporte de concreto y en las centrales de concreto.

Agregados de concreto que sirven como materiales de construcción de reciclaje: en la construcción, cada año se produce alrededor de 1 millón de toneladas de concreto de demolición y aproximadamente 1.5 millones de toneladas de materiales de demolición no clasificados, y la tendencia está creciendo fuertemente.

Utilización de materiales triturados provenientes de la perforación de túneles (actualmente menos de 100,000 t / a) y de piedras calizas.

Importación de más de 4 millones de toneladas de arena y grava por año.

Aditivos del concreto

Aproximadamente un tercio del total concretos fabricados en Suiza contiene aditivos (tendencia que tiende a incrementarse). Los aditivos son materiales agregados a los concretos durante el mezclado en cantidades inferiores a 5 por ciento (con respecto a la masa del cemento) y que sirven para modificar las propiedades de estos concretos en los

estados fresco y endurecido (prEN 934-2). Ya se ha tratado en detalle la utilización de los principales aditivos en números anteriores del *Bulletin du ciment*.⁹ En 1996, se vendieron un total de aproximadamente 15,000 toneladas de aditivos, de los cuales 76 por ciento eran superfluidificadores (HBV) y fluidificadores (BV). Al realizar un estudio, se efectuaron pruebas de lavado con lejía, con agregado de concreto en probetas de diferentes composiciones confeccionadas en el laboratorio, y se examinaron los productos elegidos considerando el carbón orgánico (COT) disuelto. Las cantidades de COT constatadas fueron mínimas (menos de 50 ppm). En condiciones de prueba muy severas, fue posible lavar con lejía un total de aproximadamente 20 a 30 por ciento de los HVB utilizados. En los agregados de concreto, únicamente una pequeña parte de las sustancias lavables provenían de los aditivos utilizados. El resto era responsabilidad de los productos utilizados en la construcción (pinturas, adhesivos, colas, masilla, etc.) y de otros materiales (madera, yeso, asfalto, etc.), así como, en una parte muy pequeña, de los agregados, el cemento y el agua.

De acuerdo con los conocimientos actuales, los HBV casi no amenazan al medio ambiente. Puesto que los aditivos son fácilmente solubles en el agua, no hay que temer su concentración en los suelos, los conductores del agua subterránea y los organismos. La asociación profesional de fabricantes suizos de aditivos de concreto (FSHBZ), en colaboración con especialistas del medio ambiente independientes, ha creado una etiqueta de calidad para los aditivos de concreto y mortero (**figura 3**). Esta etiqueta se concede a los productos que están clasificados como ecológicos. Se toman en cuenta la producción, el almacenamiento, transporte, utilización, reciclaje, eliminación y

empaquetado de un aditivo.

Aditivos minerales del concreto

Según la norma SIA V 162.051, los aditivos minerales son materiales orgánicos finamente repartidos que pueden agregarse a los concretos para mejorar ciertas propiedades o para conferirles propiedades particulares. Pueden ser de origen natural (por ejemplo, emisiones volcánicas), o producidos industrialmente (por ejemplo, cenizas volantes de centrales térmicas que usan hulla). Los aditivos minerales, por definición, se agregan al concreto en el momento de su fabricación. Pero las cenizas volantes, arenas de escoria, harinas de calizas y humos de sílice también se muelen directamente con el clinker. De ahí resultan diferentes tipos de cementos (norma SIA 215.002). Lo concerniente a los aspectos técnicos de los agregados se ha tratado en diferentes números de *Bulletin du ciment*.¹⁰ En comparación con otros países en donde se producen aditivos minerales en forma de subproductos de procesos industriales, el consumo de aditivos minerales en Suiza es bajo (aproximadamente 50,000 t / año). Admitiendo que se utilicen alrededor de 30 kg de aditivos minerales por metro cúbico de concreto, se agrega al conjunto de concretos suizos aproximadamente 10 % de cenizas volantes de hulla o de arenas de escoria.

El concreto y el medio ambiente

Las indicaciones relativas a las necesidades energéticas (por ejemplo, para la producción de una tonelada de cemento), se relacionan ya sea con la energía final consumida (litro de petróleo, kilovatio / hora de electricidad, etc.) o bien con la energía primaria, también llamada energía gris. La energía gris comprende los gastos de energía para la producción y el transporte de la energía hasta el consumidor

final. Según la manera de considerar el asunto (límite del sistema), la energía primaria puede también comprender las necesidades energéticas para la realización de obras de infraestructura tales como centrales térmicas, refinerías, etc. Un ejemplo: para la producción de una tonelada de CEM 1, las necesidades de energía final son de aproximadamente 3.4 MJ, y el consumo de energía primaria (sin obras de infraestructura), de aproximadamente 4.1 MJ.

Cada metro cúbico construido en los edificios habitacionales comprende alrededor de 500 kg de materiales. Más de dos tercios de los edificios están compuestos de concreto, piedra natural o artificial, así como de ladrillos de barro cocido y tejas (**tabla 4**).

En los grandes conjuntos modernos, la energía gris relacionada con los materiales se estima entre 60 y 110 MJ por metro cuadrado al año, por superficie de referencia energética.

La energía relacionada con los materiales es la energía necesaria para la fabricación de los materiales de construcción para el recubrimiento de los edificios. No comprende el transporte de los materiales del fabricante al lugar de la obra, ni las necesidades energéticas para la excavación y otros trabajos en la obra.

Durante la utilización de un edificio, los ocupantes consumen para su funcionamiento y para la utilización de medios de transporte un múltiplo de la energía relacionada con los materiales. No por esto es menos necesario continuar mejorando el costo energético de fabricación de los materiales de construcción.

En estas consideraciones sobre las necesidades energéticas, no se ha tomado en cuenta más que un solo aspecto ecológico. Tres escenarios diferentes para la evolución

del consumo de energía y del volumen construido de edificios habitacionales, indican lo siguiente:¹²

Construcción, conservación y renovación como hasta el presente; los nuevos edificios se construyen de acuerdo con el estándar actual.

Conservación de los volúmenes construidos existentes, es decir, estrategia para minimizar el consumo de materiales (arena, grava); el volumen de las nuevas construcciones corresponde al de las demoliciones.

Transformación para minimizar el consumo de energía; en 50 años, el conjunto de las construcciones actuales será reemplazado por construcciones que requieran un mínimo de consumo de energía.

Los resultados de estos tres escenarios se presentan en la **figura 4**. Con el primer escenario (“como hasta el presente”), la actualización de datos revela el volumen más elevado de construcción y de consumo de energía. La decisión por cualquiera de los escenarios debe tomarse en un nivel superior, en el marco de una orientación de la opinión política.

Contenido de metales pesados

Los cementos, los agregados y los aditivos minerales son los que determinan en mayor medida el contenido de metales pesados de un concreto; el agua de mezclado y los aditivos sólo contribuyen muy levemente.

El reemplazo parcial del cemento por aditivos minerales tales como cenizas volantes de hulla o arena de escoria conlleva –según la composición de éstos– contenidos mayores o menores de metales pesados en los

concretos.

Los agregados provenientes de rocas de los Alpes –extraídas, por ejemplo, durante la perforación de un túnel–, pueden presentar contenidos de metales pesados más elevados que los agregados provenientes de la meseta. Lo mismo puede decirse de los agregados de concreto en los concretos reciclados. La utilización como agregados de agregados de concreto o de materiales extraídos durante la perforación de túneles no debe cuestionarse sistemáticamente ya que, en contrapartida, se necesitan menos descargas y los yacimientos de grava y arena pueden cumplir otras funciones (por ejemplo, reserva de agua potable).

Peligro de los metales pesados

No es el contenido total de metales pesados lo determinante para la contaminación del medio ambiente, sino solamente la parte de estos metales que pueden extraerse mediante lavado con lejía.

Los concretos frescos no pueden lavarse más que si entran en contacto con el agua durante el breve lapso de su endurecimiento. Aún no se cuenta con estudios sobre este tema, pero es necesario admitir que el riesgo es grande. En el momento de efectuarse las pruebas de laboratorio sobre el lavado de metales pesados contenidos en los concretos endurecidos, ha sido necesario aumentar artificialmente el contenido de cada uno de los metales pesados para poder realizar mediciones confiables. Aun así, se satisfacían las exigencias de la disposición sobre protección de aguas relativas a las aguas superficiales.

En el momento de las pruebas de lavado de metales pesados, los concretos con o sin aditivos minerales proporcionan, en general,

los mismos resultados. Esto no tiene nada de extraño, ya que los metales pesados se fijan muy bien, tanto en los aditivos minerales como en la pasta de cemento endurecido y los agregados.

Reciclaje del concreto

Ochenta por ciento de aproximadamente 1.5 millones de toneladas de desechos de cantera tratados en 1996 en los patios de maniobras ha podido ser reciclado. En los desechos de cantera, aumenta el porcentaje de concreto que se transforma en agregado de concreto. Es de preverse que en el futuro, aproximadamente 2.5 por ciento de las construcciones se destruya cada año, lo que representará algo así como 1 millón de metros cúbicos de desechos de concreto.

Las exigencias técnicas y ecológicas relativas al concreto de reciclaje figuran en la recomendación SIA 162/4, en la norma SN 640743 a de la VSS, y en la directiva para la valorización de los desechos de cantera minerales publicada por la OFEFP. Los agregados de concreto se utilizan tanto no aglomerados (reemplazo de arena y grava) como aglomerados (concreto). Sus principales usos son, actualmente:

- reemplazo de arenas y gravas en su forma no aglomerada.
- concreto pobre
- sustitución de los agregados naturales para los concretos de construcción.

Los aditivos y los aditivos minerales eventualmente contenidos en los agregados de concreto no entorpecen; lo que perjudica son las impurezas (entre otras el caucho, la hulla) provenientes del uso o de la mezcla con otros materiales en el momento de la obra

(construcciones mixtas) o de la demolición. Se pueden utilizar aditivos y aditivos minerales sin problema en el concreto de reciclaje.

Evaluaciones ecológicas

En la **figura 5** se presentan las fases ecológicamente importantes, los márgenes de decisión, así como la evolución de los costos en el ciclo de vida de una obra. En el plano ecológico, los trabajos más importantes son principalmente los que se efectúan antes y durante el estudio y el establecimiento del proyecto (por ejemplo, la decisión de construir o de transformar, de una construcción metálica o en concreto armado, así como la definición de la utilización y las necesidades). Durante los trabajos de construcción no pueden realizarse mejoramientos importantes. De la figura 5 también se desprende que la elección del material tiene gran influencia en los costos de construcción o de eliminación.

Evaluación del impacto sobre el medio ambiente

Para las consideraciones generales relacionadas con el impacto sobre el medio ambiente, es esencial efectuar una evaluación exhaustiva de los aspectos ecológicos y técnicos importantes. Para los elementos de construcción con concreto son importantes, entre otros, la fabricación y composición de las materias brutas y del concreto, la fase de utilización y de mantenimiento, así como la demolición. Durante todas las fases, se producen cantidades diversas de ruido, agua de desecho, gases de combustión y se consumen energía y materias primas. Los impactos difieren mucho y no hay manera de compararlos directamente. Una manera, por ejemplo, sería constituir lo que se llama categorías de impactos.

Categorías de impactos

Se pueden agrupar en categorías de impactos (**tabla 5**) los efectos de diversas sustancias que se sabe que son importantes. Por ejemplo, gas carbónico, metano, gas hilarante e hidrocarburos clorados se agregan como equivalentes de gas carbónico en lo que concierne al potencial del efecto de invernadero. También se agrupan en categorías de impacto los perjuicios ocasionados a la salud del hombre (toxicidad para el hombre), así como a las plantas y animales (ecotoxicidad), por las aguas usadas, los gases de escape, etc. Existen además criterios complementarios que deben también incluirse en la evaluación ecológica.

Las categorías de impacto son el primer paso hacia una consideración ecológica global, ya que se limitan a lo que es necesario y posible en función de los conocimientos actuales; continuamente se toman en consideración los nuevos descubrimientos.

El método de categorías de impacto ha resultado eficaz para los materiales de construcción. Ha sido utilizado, por ejemplo, para tubos de canalizaciones, postes de líneas eléctricas aéreas y durmientes de vías de ferrocarril. Hasta ahora no ha habido estudios sobre las edificaciones habitacionales.

Estos estudios son costosos, y tratar de simplificarlos descuidando ciertos parámetros puede llevar a conclusiones erróneas.

Ejemplo de postes de líneas eléctricas aéreas

Un estudio hecho en 1995¹⁷ es un buen ejemplo de una evaluación ecológica general o de una comparación ecológica. Se examinó y

evaluó una línea ordinaria de 0.4 kV de 1,000 m de longitud, y 35 m entre postes, incluyendo el sitio. Se trató de postes de madera, de acero y de concreto armado. Los impactos sobre el medio ambiente se agruparon en categorías de impacto (**tabla 5**), desde la fabricación hasta la eliminación (**figura 6**). En forma complementaria, se definió, por medio de un análisis de sensibilidad, lo que influía de manera determinante sobre las informaciones obtenidas y si las bases de datos eran lo suficientemente precisas.

La construcción en madera resultó, desde el punto de vista ecológico, ligeramente más ventajosa que la de concreto armado, la que, a su vez, era netamente más ventajosa que la construcción de acero. Para los postes de líneas eléctricas aéreas, en condiciones diversas, deben ponderarse las diferentes categorías de impacto de manera distinta. En los sitios ya sometidos a una carga ecotóxica relativamente elevada, por ejemplo, la construcción en concreto armado podría ser ecológicamente más ventajosa que la de madera, que es la que plantea más problemas en cuanto a la ecotoxicidad.

Posibilidades de obtener información

Las fichas técnicas y las fichas de datos de seguridad contienen información esencial concerniente a los riesgos para el medio ambiente. Se incluye la responsabilidad del fabricante del producto. En la ficha para la declaración SIA, las materias utilizadas en los materiales y elementos de construcción se registran cuantitativamente. Algunas raras indicaciones complementarias dan una leve idea del impacto sobre el medio ambiente. Los proveedores o los fabricantes determinan la calidad de las declaraciones, porque son ellos los que dan las indicaciones.

Además de estas fichas, existen otros numerosos documentos en los que, a veces por razones de "practicabilidad," se ha procedido a simplificaciones inadmisibles. En el dominio de la construcción, se han publicado numerosas fichas cantonales y comunales sobre la construcción ecológica. Tales fichas contienen datos valiosos, aun cuando las evaluaciones ecológicas pueden variar de un cantón a otro. Los materiales que son rechazados en un cantón pueden muy bien ser aconsejados en otro.

En consideración a este estado de cosas complejo, se han creado los "eco-forum" y, en la primavera de 1998, la "plataforma común para una construcción durable." Aquí es donde pueden y deben someterse los nuevos documentos que vayan a emitirse e incluyan datos ecológicos. Se quiere así, por una parte, evitar desde un principio repeticiones inútiles y contradicciones, y por la otra, permitir encontrar información sobre el contenido de los documentos existentes.

Perspectivas

La reducción de la contaminación causada al medio ambiente en general, y del consumo de energía en particular, es una tarea prioritaria que hay que enfocar desde diferentes ángulos. Por ejemplo:

Deben establecerse ciclos de materiales y debe alentarse la utilización de materiales de construcción reciclables. Por otro lado, hace falta lograr una mayor aceptación de los materiales secundarios tales como el agregado de concreto. Los materiales secundarios no deberán someterse a exigencias más severas que los materiales primarios.

Cuando se proyecta una nueva construcción, es necesario primero estudiar las posibilidades

de reciclaje del volumen construido existente, de modo que, al construir, se utilicen menos materiales tomados de la naturaleza.

Debe reducirse el consumo de energía por el volumen construido existente.

Debe concederse gran importancia a la durabilidad.

Los sistemas de administración ambiental en las empresas de producción ofrecen ventajas ecológicas y económicas. Los flujos de materiales y de energía pueden mejorarse.

Variante en concreto para el nuevo puente sobre el Aar

Para reemplazar el puente metálico de enrejado que cruza el río Aar entre Vogelsang y Lauffohr, el departamento de obras públicas del cantón de Argovie ordenó proyectar variantes de puentes en madera, acero y concreto. Un jurado examinó los anteproyectos del puente desde el punto de vista técnico, económico y ecológico. Para la evaluación ecológica se recurrió a expertos independientes. También fue objeto de evaluación la integración del puente al paisaje. La mejor solución resultó ser el puente de concreto armado. Así pues, el consejo ejecutivo dio la orden de proyectar la construcción de un puente de concreto armado.

Bibliografía

El presente artículo está basado en gran medida en la documentación SIA D 0146.¹ Las llamadas que allí se encuentran no se mencionan más que si remiten a las fuentes en la forma de figuras o tablas.

1. "Umweltaspekte von Beton / Informationen

zur Umweltverträglichkeit”, documentation SIA D 0146 (1998).

2. “L’environnement en Suisse 1997 / Chiffres, faits, perspectives”, publicado por l’Office Fédéral de la Statistique y l’Office Fédéral de l’Environnement, des Fôrets et du Paysage (1997).

3. Krusche, P. y otros, “Ökologisches Bauen” (1982).

4. “Elimination des déchets dans les cimenteries”, documento básico, documentos medio ambiente núm. 70, OFEFP (1997).

5. “Recommandations relatives à la importation et à la utilisation de cendres volantes et de mâchefers de hauts-fourneaux dans la fabrication de matériaux de construction”, OFEFP (carta del 4-7-97).

6. “Directive pour la valorisation, le traitement et le stockage des matériaux d’excavation et déblais”, OFEFP (proyecto de diciembre de 1997).

7. “Protection contre les dermatoses provoquées par le ciment”, número especial del *Bulletin du Ciment* (marzo de 1999).

8. Kündig, R. Y otros, “Die mineralischen Rohstoffe der Schweiz”, publicado por la Schweizerische Geotechnische Kommission, EPF Zurich (1997).

9. “Les adjuvants”, publicación aparte del *Bulletin du Ciment* (1995).

10. “Les adjuvants”, publicación aparte del *Bulletin du Ciment* (1995).

11. Baccini, P., “Welche Ressourcen stecken in den Bauwerken unserer Siedlungen?”, en

Lichtendteiger, T. (ed.). "Ressourcen im Bau", vdf, ETH Zurich (1998).

12. Redle, M. y P. Baccini, "Stadt mit wenig Energie, viel Kies und neuer Identität", *Gaia* 7 [3] , 182-195 (1998).

13. "Ecologie dans la construction / Recommandations CIMP", publicado por la Communauté d'Intérêts des Maîtres d'Ouvrage Professionnels Privés, Zurich (1997).

14. Heijungs, R.. "Environmental life assessment of products / guide", informe 9266, Centre of Environmental Science, Leiden (1992).

15. ____ "Environmental life assessment of products / backgrounds LCA", informe 9267, Centre of Environmental Science, Leiden (1992).

16. "Methodik der produktbezogenen Ökobilanzen / Wirkungsbilanz und Bewertung", Texte 23, Umweltbundesamt berlin (1995).

17. Künniger, T. y K. Richter, "Ökologischer Vergleich von Freileitungsmasten", informe Empa, Dübendorf (1995)

18. *Schweizer Baublatt* 1999 [55] , 3.

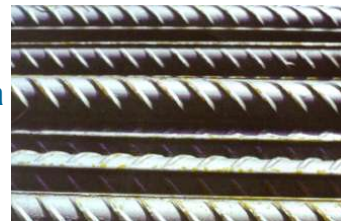
**Instituto Mexicano del Cemento y
del Concreto, A.C.**
Revista Construcción y Tecnología
Febrero 2000
Todos los derechos reservados

[ARTICULO
ANTERIOR](#)



[ARTICULO
SIGUIENTE](#)

¿Cuál es la varilla de refuerzo más resistente a la corrosión?



Debido a que la corrosión del refuerzo puede dar como resultado agrietamiento, manchas y astillamiento del concreto, así como reparaciones costosas, con frecuencia el refuerzo resistente a la corrosión es la elección obvia para estructuras de concreto expuestas a altos niveles de cloruro. Lo que no queda muy claro es cuál es el mejor tipo de varillas de refuerzo que ha de usarse para un proyecto particular.

Las varillas de refuerzo con una capa epóxica, las galvanizadas, las de polímeros reforzados con fibra de vidrio, las de acero sólido inoxidable y las revestidas de acero inoxidable, todas están diseñadas para resistir la corrosión, especialmente la corrosión inducida por iones de cloruro. Antes de seleccionar uno de estos productos para una obra, se deben considerar factores tales como costos iniciales, aspectos de construcción, grado de resistencia a la corrosión y comportamiento a largo plazo. La siguiente comparación de las cinco opciones de varillas de refuerzo pueden ayudar a tomar una decisión bien fundamentada.

Varillas de refuerzo con una capa epóxica (epoxy-coated rebar, ECR)

Los recubrimientos epóxicos en las varillas se han diseñado para que actúen como una barrera física, aislando el acero de los tres elementos principales necesarios para que ocurra corrosión –oxígeno, humedad y iones de cloruro–. El recubrimiento también sirve como un aislante eléctrico para el acero y minimiza el flujo de corriente corrosiva.

Aunque las varillas recubiertas completamente con epóxicos no se corroen, su rendimiento depende de la capacidad e integridad del recubrimiento. Cuando se presentan defectos en el revestimiento (pequeñas superficies sin revestir) y ocurre el daño, la resistencia a la corrosión disminuye. La mayor parte del daño causado, tales como astillas, raspaduras y áreas magulladas, ocurre durante el transporte, el manejo y la colocación de las varillas, y cuando el concreto fresco cae violentamente sobre las varillas.

Al igual que ocurre con las varillas de refuerzo negras y sin recubrimiento, el rendimiento de las ECR también depende del grado de agrietamiento del concreto, la profundidad del recubrimiento de concreto y los niveles de cloruro. La acción combinada de los defectos del recubrimiento y los daños por la exposición a condiciones severas

Resumen:

Para estar en condiciones de decidir cuál es el refuerzo que más conviene a fin de evitar la corrosión, es preciso conocer los distintos tipos de varilla que pueden utilizarse, y para ello, nada mejor que consultar esta comparación de las características, el rendimiento y el costo de cinco opciones que se encuentran en el mercado.

Aquí! 

puede llevar a la corrosión prematura y al deficiente comportamiento de las ECR.

Desde mediados de los años setenta, las ECR se han usado ampliamente porque se suponía que la capa epóxica evitaría problemas de corrosión. Sin embargo, a principios de los noventa empezaron a surgir informes acerca de fallas de las ECR, particularmente en puentes de concreto en los Cabos Florida. En respuesta a estos informes, la Administración Federal de Carreteras recomendó que los estados evaluaran el comportamiento de las ECR en los tableros de puente existentes. En seguida tenemos algunos de los resultados clave de estas evaluaciones:¹

- La condición general de las estructuras hechas con ECR era buena, con sólo algunas áreas aisladas deterioradas. Ningún agrietamiento o delaminación en los tableros de los puentes fue causado por corrosión de las ECR.

- De las 202 muestras de ECR tomadas de los tableros de puentes, 81 por ciento no mostraba corrosión alguna. Las áreas donde había corrosión se localizaban típicamente en lugares con pequeñas superficies sin revestir visibles o con acero expuesto. Las muestras fuertemente corroídas de ECR se encontraban en áreas con un recubrimiento ligero de concreto y altas concentraciones de cloruro.

- Las concentraciones promedio de cloruro cerca de la varilla de refuerzo estaban en, o por encima, del umbral necesario para iniciar la corrosión en el acero negro. En áreas con un recubrimiento inadecuado de concreto, los niveles de concentración de cloruro eran usualmente más altos y el concreto se encontraba típicamente agrietado.

En los tableros de puente evaluados, los recubrimientos epóxicos no dañados proporcionaban un sistema de barrera adecuado y una protección efectiva contra la corrosión hasta por 20 años, reiterando la importancia de manejar las SCR con cuidado y reparar apropiadamente todos los recubrimientos dañados.² Además de las evaluaciones de campo, la investigación en el laboratorio sobre la corrosión acelerada confirma que es muy importante recubrir completamente las aristas de refuerzo con epóxicos para lograr la resistencia contra la corrosión, especialmente en el concreto agrietado y allí donde las ECR están eléctricamente unidas al acero negro.

En pruebas de especímenes de concreto preagrietado en las que se usaron cátodos negros (con las ECR amarradas eléctricamente al acero negro), las tasas de corrosión para las varillas de refuerzo con daño en el recubrimiento sobre 0.5 por ciento de la superficie, fueron de 2.1 a 36 veces más bajas que las tasas para el acero negro. Para las ECR con 0.004 por ciento de daño en el recubrimiento, los valores eran de 6.7 a 289 veces más bajos. En concreto no agrietado con un cátodo epóxico, las tasas de corrosión de las ECR con un daño de 0.5 por ciento en el recubrimiento eran de 150 a 1,175 veces más bajas que las correspondientes a las varillas negras. Para las ECR con daño en el recubrimiento del 0.004 %, las tasas fueron de 69 a 1,762 veces

En el recubrimiento del 0.004 %, las tasas fueron de 0.5 a 1,702 veces más bajas (véase la tabla 1). Los investigadores atribuyeron el amplio rango de resultados a los diferentes tipos y marcas de recubrimiento epóxico empleado en la investigación.

Es importante hacer notar que el umbral de cloruro para iniciar la corrosión en las ECR con daño de 0.5 por ciento en el recubrimiento, es el mismo que el umbral para iniciar la corrosión en el acero negro.³ Para las ECR con daño de 0.004 por ciento o menos en el recubrimiento, el umbral es más alto debido a que el recubrimiento epóxico impide que los iones de cloruro lleguen a estar en contacto con el acero. En la obra, esto significa que el daño al recubrimiento epóxico que resulta de la construcción podría disminuir los límites del umbral de cloruro. La investigación indica también que las varillas dobladas tienen una menor resistencia a la corrosión que las varillas rectas, ya que la acción de doblado daña el recubrimiento epóxico en las áreas de doblado.

Varillas de refuerzo galvanizadas

Desde los años treinta se han usado varillas de refuerzo galvanizadas por inmersión en caliente o recubiertas con zinc, pero los informes sobre su comportamiento son contradictorios, especialmente cuando las varillas de refuerzo se someten a grandes concentraciones de cloruro. Un investigador asegura que el nivel del umbral para iniciar la corrosión es de 4 a 10 veces más alto que el del umbral para las varillas de refuerzo negras. Otros investigadores dicen que las varillas galvanizadas producirán únicamente un ligero incremento de la vida de una estructura en ambientes severos de cloruro.⁴

El recubrimiento de zinc protege la varilla actuando como una barrera. Si el mismo se daña, se autocura en cierta medida al formar una capa de corrosión no expansiva, sacrificial, que protege el acero subyacente. Algunos resultados de corrosión acelerada indican que la varilla de refuerzo galvanizada es 38 veces más resistente a la corrosión que el acero negro para concreto no agrietado, usando un cátodo galvanizado. Para concreto agrietado y un cátodo negro, las tasas de corrosión se incrementan en 41 por ciento.³ Esto indica claramente la necesidad de un concreto de buena calidad, libre de grietas, y acoplamientos no galvanizados entre el refuerzo recubierto y no recubierto. Cuando se empleen varillas de refuerzo galvanizadas, hay que asegurarse de que las varillas y los herrajes estén recubiertos de zinc. Los extremos cortados y las soldaduras deben estar recubiertos con un imprimador con alto contenido de zinc.

Varillas de refuerzo de polímero reforzado con fibra de vidrio (glass-fiber-reinforced-polymer, GFRP)

Las varillas de refuerzo GFRP compuestas de fibras de vidrio impregnadas de resina y que no contienen acero, son inmunes al ataque de cloruros y de químicos. Además, las varillas de refuerzo no son conductoras de electricidad y tienen altas relaciones de resistencia a peso. Tienen una resistencia a la tracción hasta dos

resistencia a peso. Tienen una resistencia a la tensión hasta dos veces mayor que la del refuerzo de acero convencional aunque pesen únicamente la cuarta parte (un atado de 10 varillas núm. 6 pesa únicamente 34 kg). Debido a que las varillas de refuerzo GFRP no son conductoras, no afectan los campos magnéticos ni las frecuencias de radio, se vuelven el refuerzo ideal para concreto en la vecindad de equipos con imagen de resonancia magnética, equipos de radio y de calibración de brújulas, o transformadores de alto voltaje, cables y subestaciones.

Puesto que las GFRP tienen cualidades distintas a las del acero, existen importantes diferencias en el diseño y en las consideraciones de construcción. Por ejemplo, el módulo de tensión del refuerzo con GFRP es únicamente 1/5 del correspondiente al acero, lo que puede limitar las longitudes de claros. Todos los dobleces para las varillas GFRP deben hacerse en la fábrica; no se permiten dobleces en la obra. Se permite cortarlas, pero debido a que los materiales con alto pH, como es el concreto, degradarán las fibras de vidrio expuestas, los fabricantes pueden recomendar que se sellen los extremos cortados. Sin embargo, algunos fabricantes dicen que no es necesario el sellado, ya que cualquier degradación que pueda ocurrir será pequeña. Las varillas GFRP no pueden ser soldadas ni mecánicamente empalmadas.

Varillas sólidas de acero inoxidable

Estas varillas, hechas de una aleación de acero formada por la adición de cromo, níquel y molibdeno, son varillas de acero inoxidable químicamente inactivas y altamente resistentes a la corrosión, gracias a la delgada capa de óxido rico en cromo que se forma en la superficie del acero. Al agregar diferentes cantidades de cromo, níquel y molibdeno, se crean diferentes grados de acero inoxidable. Para el acero de refuerzo, los grados 304 y 316 son los más comunes, siendo el grado 316 el más popular. Aunque los investigadores informan que el grado 316 es ligeramente más resistente a la corrosión inducida por cloruros que el grado 304, ellos recomiendan basar la selección del grado en las propiedades físicas y de diseño, ya que la resistencia a la corrosión de los diferentes grados de acero inoxidable es similar.⁵

Las pruebas de corrosión acelerada indican que las varillas de acero inoxidable son de 800 a 1,500 veces más resistentes a la corrosión que las varillas negras, y tienen un umbral de cloruro de 15 a 24 veces más alto.³ Sin embargo, las varillas de grado 304 pueden ser susceptibles de sufrir corrosión cuando se usan en ambiente muy severo con un cátodo negro, mientras que la varilla de grado 316 no parece ser afectada por el preagrietamiento del concreto previo a la prueba y el uso de un cátodo negro. Aun en presencia de altas concentraciones de cloruro, parece que las varillas de acero inoxidable pueden durar hasta cien años.³

Las varillas de refuerzo y de acero inoxidable pueden doblarse, cortarse, soldarse en la obra, y son muy resistentes a raspaduras y

asimias. Las áreas matriataadas, los extremos cortados y las soldaduras no necesitan recubrirse.

Varillas revestidas de acero inoxidable

Las varillas de refuerzo revestidas de acero inoxidable se han introducido recientemente en Estados Unidos. Un delgado revestimiento exterior de acero inoxidable está adherido al núcleo de acero y carbón convencional, creando una varilla compuesta que tiene la misma resistencia a la corrosión que las varillas sólidas de acero inoxidable, según informan el fabricante. El revestimiento es muy duro

y casi imposible de raspar o astillar. La varilla revestida puede doblarse, cortarse y soldarse, aunque algunos especificadores pueden exigir que se aplique un revestimiento a los extremos cortados.

Comparación de costos

Los costos de las varillas con una capa epóxica, las galvanizadas, las GFRP, las de acero inoxidable sólido y las revestidas, varían casi tanto como las propiedades físicas y de resistencia a la corrosión. La tabla 2 muestra la relación de costos entre el acero negro y cuatro tipos de varilla resistentes a corrosión con base en las cifras de costos que se dan en la tabla 1. (Debido a que las GFRP son considerablemente menos densas que el acero, su costo por libra no puede compararse directamente con los distintos aceros). Estas cifras comparan únicamente costos materiales, de modo que para determinar los costos en el sitio de la obra, hay que considerar también los costos de fabricación.

Al comparar las opciones de varilla de refuerzo, hay que ver más allá de los costos iniciales y considerar los beneficios potenciales a largo plazo así como los costos del ciclo de vida total. Las encuestas han demostrado que el uso de varillas de refuerzo resistentes a la corrosión puede incrementar el costo inicial de un proyecto en sólo un pequeño porcentaje, lo que significa que las varillas de refuerzo pueden probar su alta rentabilidad en el largo plazo.

Referencias

1. J.L. Smith y Y.P. Virmani, "Performance of epoxy coated rebars in bridge decks", publicación núm. FHWA-RD-96-092, Federal Highway Administration, Research and Development, Turner-Fairbank Highway Research Center, McLean, Va., 1996.
2. David P. Gustafson y Theodore L. Neff, "Epoxy-coated rebar: handle with care", *Concrete Construction*, abril de 1994, pp. 356-359.
3. D.B. McDonald, D.W. Pfeifer y M.R. Sherman, "Corrosion evaluation of epoxy-coated, metallic-clad and solid metallic reinforcing bars in concrete", publicación núm. FHWA-RD-98-153, Federal Highway Administration, Research and Development, Turner-Fairbank Highway Research Center, 1998.

4. S.R. Yeomans, "Comparative studies of galvanized and epoxy-coated steel reinforcement in concrete", Durabilidad del Concreto / Segunda Conferencia Internacional, SP 126, American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich., 1991, pp. 335-370.

5. D.B. McDonald, M-R-. Sherman. D.W. Pfeifer e Y.P. Virmani, "Stainless steel reinforcing as corrosion protection", *Concrete International*, American Concrete Institute, mayo de 1995.

=====

Tabla 1. Comparación de varillas resistentes a la corrosión

Tipo de Cantidad de veces Resistencia Doblado

varilla más resistente a a raspaduras

la corrosión y astillamiento

Capa epóxica Daño fácil, Se permite,

. Nivel de 150 a 1,175 requiere pero puede

daño 0.5% reparaciones dañar el

. Nivel de 69 a 1,762 en la obra recubrimiento

daño 0.004% epóxico

Galvanizada 38 Muy dura: Se permite,

(capa de zinc) difícil de pero puede

dañar debilitar el

recubrimiento

GFRP No se Bastante No se permite

corroe dura: no fácil doblado en el

de dañar campo

Acero 800 a 1,500	No hay	Se permite
inoxidable	problema	
sólido		
Revestimiento	Igual que	Muy dura; Se permite
de acero	la varilla	casi
inoxidable	sólida	de imposible
acero	de dañar	
inoxidable		
Cortes	Soldadura	Umbral de Costo,
Cloruro	\$ / lb ¹	
Se permiten;	Se permite;	Igual que el 0.32
se requiere	se requiere	de la varilla
una capa	en recubrimiento	negra
el extremo	en la solda-	
cortado	dura	Muy alto
Se permiten;	Se permite;	4 a 10 veces 0.50
se requiere	se requiere	más alto que
recubrimiento	recubrimiento	el del acero
en el extremo	en la negro	
cortado	soldadura	

Se permiten; No soldable Inmune al 3.00 a
puede reque- ataque de 4.00²
irse sellado cloruro
del extremo
cortado

Se permiten Se permite; 15 a 24 veces 1.60
aplicar más alto que
procedimientos el de la varilla
especiales de negra
soldado

Se permiten; Se permite; Igual que el de 0.60
puede reque- aplicar la varilla sólida
irse recubri- procedimientos de acero
miento del especiales de inoxidable³
extremo soldado
cortado

¹ Los costos mostrados se basan en la referencia 5 y en la información de expertos de la industria. Son costos de materiales únicamente, y pueden variar en diferentes partes del país.

² La densidad de las GFRP es considerablemente menor que la del acero y los valores no se pueden comparar directamente con la varilla de acero.

³ Se supone que los valores son los mismos que para el acero inoxidable sólido.

=====

Tabla 2. Relación de costos entre varilla negra y varilla resistente a la corrosión

Tipo de varilla Relación

Negra (a 24 c / lb) 1.0

Capa epóxica 1.33

Galvanizada 2.08

Acero sólido inoxidable 6.67

Revestimiento de acero inoxidable 2.5

ILUSTRACIONES

Figura 1. Las varillas de polímero reforzado con fibra de vidrio pueden tener el doble de resistencia a la tensión que las varillas de acero, pero pesan sólo la cuarta parte. Y como no contienen acero, no se corroen.

Figura2. Las varillas con recubrimiento epóxico resisten más efectivamente la corrosión si se repara cualquier daño en el recubrimiento.

Este artículo se publicó en *Concrete Construction* y se reproduce con la autorización de The Aberdeen Group

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
Revista Construcción y Tecnología
Febrero 2000
Todos los derechos reservados

[ARTICULO
ANTERIOR](#)




[ARTICULO
SIGUIENTE](#)



Concreto durable, el inicio del cambio

El ACI 201¹ define la durabilidad del concreto hecho con cemento hidráulico como la habilidad para resistir la acción del intemperismo, ataque químico, abrasión o cualquier otro proceso de deterioro. Y determina que el concreto durable debe mantener su forma original, calidad y características de servicio cuando es expuesto a este ambiente.



Tomando como base estas condiciones, la expectativa de mejorar la durabilidad y por tanto la vida útil de cualquier estructura, está dada por la definición de sus condiciones de exposición, condiciones de servicio y las prácticas recomendadas en la construcción del elemento.

En la determinación de cada uno de esos parámetros, las condiciones de exposición deben ser integradas a la posición geográfica, el carácter del lugar y el medio de contacto. Las condiciones de servicio que generan los daños más comunes que afectan al concreto en su durabilidad están expresadas por ataque de sulfatos, exposición al agua de mar, ataque ácido, carbonatación, abrasión, corrosión del acero de refuerzo y reacciones químicas; y por último, se deben tomar en cuenta las prácticas constructivas recomendadas; previas, durante y posteriores a la colocación del concreto.

Puesto que el deterioro prematuro de un elemento de concreto tiene causas muy variadas y que pueden ocurrir en un elemento a un mismo tiempo, es necesario identificarlas todas y reconocer su posible procedencia, más aún, es necesario saber sus mecanismos de ocurrencia y la magnitud de los daños que pueden provocar, ya que el establecimiento de todas estas condiciones es vital para poder prolongar la vida

Resumen:

Debido a las experiencias reiteradas de deterioro acelerado de las estructuras de concreto en todo el mundo, el concepto de durabilidad ha sufrido un cambio que está relacionado íntimamente con el costo final del producto y la vida útil de la estructura. En este artículo se discuten los tres parámetros que se manejan en la concepción del concreto durable: condiciones de exposición, condiciones de servicio y prácticas constructivas adecuadas. Éstos son, en definitiva, los tres aspectos básicos que hay que considerar en la elaboración de un concreto de larga vida.

Aquí! 

útil de cualquier estructura.

Problemática actual del concreto

Una forma sencilla de abordar esta problemática actual de las estructuras de concreto es citar algunos ejemplos donde la ignorancia o la poca importancia dada a la durabilidad durante su diseño y la falta de evaluación de las condiciones de exposición y servicio de los elementos se tradujo en el deterioro acelerado de las estructuras, con sus subsiguientes problemas operativos., mantenimiento, costos de reparación y disminución de su vida útil.

Caso 1

Datos de la construcción

- Edificio de cinco niveles, de uso habitacional; construido con un sistema de columnas y losas; concreto recubierto con pintura vinílica.
- Especificaciones: f'_c 250 kg / cm² y revenimiento desconocido.

Condiciones de exposición

- Construido en zona costera a menos de 50 m de la playa.
- Clima húmedo marino.
- Temperaturas promedio superiores a los 30 °C y humedad relativa entre 60 y 80 por ciento.
- Cimentación en contacto con un suelo rico en sales (Cl y SO₄)
- Fachada que da a la playa con elevado contenido de sales producto de la evaporación del agua de mar y que son



transportadas por el viento.

Condiciones de servicio

- Ataque químico de débil a moderado.
- Riesgo de moderado a elevado de corrosión del acero de refuerzo.

Descripción de daños

- La identificación y registro de daños se tomó a partir del quinto año de construcción; la evaluación de daños se hizo a los diez años de operación.
- La ubicación de los daños es en las columnas y balcones que tienen su cara hacia la playa; en los concretos del interior no se observó daño alguno.
- Los daños se caracterizan por fisuramiento, desprendimientos superficiales de concreto y corrosión generalizada del acero de refuerzo; en casos extremos han desaparecido los estribos.
- La ubicación de las fisuras está claramente asociada en superficie a la posición del acero de refuerzo, y a profundidad se relaciona con la sección media de la varilla. Las fisuras presentan continuidad, longitud igual al acero de refuerzo y ancho de hasta 5 mm y sin relleno.
- La mayoría de los desprendimientos se ha dado en la parte inferior de los balcones.
- El acero presenta productos de corrosión en toda la superficie expuesta y se estima que ha perdido menos del 10 por ciento de su sección original.



Características de los elementos


- En el concreto se observó segregación, sangrado, estructuras de panal de abeja, elevado contenido de aire ($>10\%$), alta permeabilidad, elevado coeficiente de difusión de cloruros, diferencias importantes en el concreto de un mismo elemento, inadecuada elección del tamaño máximo del agregado grueso y resistencia superior a los 400 kg / cm^2 .
- Recubrimientos diferenciales del acero, siendo los de mínimo espesor aquellos que tienen la condición de servicio más desfavorable.
- En el concreto superficial se midió un contenido de cloruros de 3 kg / m^3 de concreto y a la altura de la varilla el contenido fue de 9 kg / m^3 ; contenidos que se ubican muy por encima del valor límite para la ocurrencia de la corrosión, que es de 0.8 kg / m^3 .

Consecuencias

- Necesidad de una reparación mayor a 10 años de construido el edificio, para asegurar el adecuado funcionamiento y seguridad de la estructura.
- Costos del proyecto incrementados en un porcentaje importante, derivado de los altos costos de mantenimiento y reparación.

Caso 2

Datos de la construcción

- 
- Puente carretero de más de 3 km de longitud y cimentado con pilas de concreto.
 - Especificaciones: f'_c 300 kg / cm² y revenimiento desconocido.
 - El puente cuenta con una reparación mayor, consistente en un encamisado de las pilas con un mortero y una funda de fibra de vidrio.
 - En varias secciones del puente se ha incrementado el número de pilas para asegurar su funcionamiento estructural.


Condiciones de exposición


- Construido en zona costera con secciones apoyadas en tierra y fondo marino.
- Clima húmedo marino.
- Temperaturas promedio superiores a los 30 ° C y humedad relativa entre 60 y 80 por ciento.
- Cimentación en contacto con un suelo rico en sales (Cl y SO₄).
- Pilas con secciones permanentemente sumergidas en agua de mar, secciones en la zona de oscilación del nivel del mar (splash) y secciones por encima del nivel del mar.

Condiciones de servicio

- Ataque químico moderado a fuerte.
- Riesgo de corrosión del acero de refuerzo de elevado a muy intenso.

Descripción de daños

- 
- Sólo se han intensificado daños en una sección del puente que usó pilas de un constructor diferente.
 - La identificación y el registro de daños se tomó a partir del segundo año de construcción; la evaluación de daños se hizo a los 10 años de operación.
 - La ubicación de los daños es principalmente en las pilas, en la zona de splash y la sección de pila que se ubica por encima del nivel del mar.
 - Los daños se caracterizan por fracturamiento, expansión de los elementos, desprendimientos superficiales de concreto y corrosión generalizada del acero de refuerzo con pérdidas fuertes de la sección transversal.
 - La ubicación de las fisuras está claramente asociada a la posición del acero de refuerzo en superficie. Las fisuras presentan continuidad, longitud igual al acero de refuerzo y ancho de hasta 10 mm y sin relleno.
 - La mayoría de los desprendimientos se dan en la zona de mareas, en donde algunos de los desprendimientos ha llegado a una profundidad de hasta varios centímetros de la parte trasera del acero de refuerzo. En una cantidad importante de pilas, la protección del acero de refuerzo ha desaparecido o no funciona adecuadamente.
 - El acero presenta productos de corrosión en toda la superficie expuesta y se estima que ha disminuido promedio menos de 15 por ciento de su sección original.
 - En la zona reparada se observan daños



en la franja de splash con pérdida de la camisa de fibra, el mortero y el concreto. Muchas de las pilas presentan expansión y han deformado o roto la camisa de fibra con evidencias claras de corrosión.


- En la zona de splash y la zona que se encuentra inmediatamente por encima de ella se observa un adelgazamiento de la camisa de fibra de vidrio.

Características de los elementos

- En el concreto, en forma superficial sólo se observan algunos defectos de construcción tales como poros y segregación.
- El recubrimiento del acero es escaso para una condición de servicio tan desfavorable; en algunos casos se observó que éste es menor a 25 mm.

Consecuencias

- Necesidad de una reparación mayor a cinco años de construido el puente, para asegurar el adecuado funcionamiento y seguridad de la estructura.
- Costo del proyecto incrementado en un porcentaje importante, derivado de los altos costos de mantenimiento y reparación.
- La efectividad de la reparación puede ser severamente cuestionada, ya que a cinco años de su ejecución el daño no sólo no se ha detenido, sino que ha continuado y dañado a la misma reparación.

- 
- Esta síntesis de dos problemas relacionados con la durabilidad de las estructuras de concreto puede representar una clara muestra de la problemática actual, condición que no cambiará mientras las especificaciones de concreto se relacionen tan solo con su resistencia a la compresión y su consistencia.
 - En los siguientes incisos se discuten en forma sucinta los tres aspectos básicos que se deben considerar en la elaboración de un concreto durable.

Condiciones de exposición

La determinación de las condiciones de exposición de cualquier elemento se deben evaluar han atención al medio ambiente y dependen de la posición geográfica y del carácter urbano, rural o industrial del lugar; y las características del medio de contacto corresponden al suelo, el agua o cualquier otra sustancia sólida, líquida o gaseosa que eventualmente pueda tener contacto con la estructura. En el caso de las condiciones que prevalecen en el interior del concreto, la condición más inestable que afecta la durabilidad del mismo es la que se produce por las reacciones deletéreas entre el cemento y los agregados.²

Posición geográfica

Cuando se considera la elaboración de concreto, las condiciones climatológicas se tienen como un grupo de variables importantes, las cuales pueden ser identificadas y agrupadas en tres diferentes categorías:³

1. Intervalo de baja temperatura, en que deben

aplicarse medidas para proteger el concreto fresco y endurecido contra el frío excesivo.

2. Intervalo de temperatura moderada, en que no se requieren medidas especiales en este aspecto para el uso del concreto en la construcción de estructuras ordinarias.

3. Intervalo de altas temperaturas, durante cuya manifestación se recomiendan precauciones con el objeto de prevenir los efectos perjudiciales del calor excesivo principalmente sobre el concreto fresco y recién colocado.

Esta última categoría representa, en el caso de la República mexicana, la condición más desfavorable para la producción del concreto y la única posibilidad de ocurrencia, por lo que será la única que se discutirá en este documento. Puesto que lo que nos interesa definir son las condiciones de alta temperatura, resulta conveniente cómo define el clima caluroso el comité ACI 305,³ el cual indica que es una combinación de las siguientes condiciones, que tienden a perjudicar la calidad del concreto fresco o endurecido: alta temperatura del ambiente, alta temperatura del concreto, baja humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar.

En virtud de la combinación de factores que intervienen en la valoración de un clima caluroso, el U.S. Bureau of Reclamation⁴ especifica para estructuras ordinarias una temperatura máxima de 27 ° C cuando el clima es caluroso pero no seco. El balance de esta condición indica, al esperarse que la temperatura del concreto al ser mezclado sea ligeramente mayor que la promedio del medio ambiente, que para poder colocar el concreto a una temperatura máxima de 27 o 32 ° C, sin adoptar medidas preventivas, es necesario que la temperatura ambiente sea menor de 27 ° C en clima seco y menor de 32 ° C en clima húmedo.

Se sabe que el agrietamiento derivado de la contracción por secado en condiciones climáticas desfavorables ocurre cuando la velocidad crítica de evaporación del agua superficial del concreto alcanza $1 \text{ kg} / \text{m}^{(2)} / \text{h}$.

Con los datos de la referencia 5, la República mexicana se localiza entre los 15 y 33 grados de latitud norte, de manera que el trópico de Cáncer ($23^\circ 27'$) la divide en dos porciones aproximadamente iguales; de este modo, astronómicamente, a la porción sur le corresponde clima tropical y a la porción norte clima templado. Sin embargo, de acuerdo con las condiciones locales de altitud y distancia al mar, existe cierta tendencia a la definición de tres zonas que presentan diferente clima regional: zona A, que corresponde a la región centro-norte, en donde el ambiente suele ser seco, caluroso en verano y frío en invierno; zona B, que rodea la anterior pero con un clima menos extremo pues exhibe mayor grado de humedad y más moderación en las variaciones estacionales de temperatura; zona C, que comprende principalmente la región sur-sureste y la llanura costera del litoral del Golfo de México, en donde el clima es sensiblemente tropical, cálido y húmedo, con relativamente menos variaciones entre el verano y el invierno.

En la **figura 1** se hace una delimitación tentativa de estas tres zonas climáticas, cuyas principales características de temperatura y humedad son aproximadamente como sigue:

Conceptos Zonas climáticas

(límites probables) (A) (B) (C)

Temperatura mínima absoluta en invierno, ° C -22 / -8 -12 / 0 0 / 12

Temperatura máxima absoluta en verano, ° C 36 / 50 36 / 48 40 / 46

Humedad relativa media anual, % 30 / 40 40 / 60
60 / 80

De esta definición zonal, se concluye que la zona A presenta la mayor velocidad de evaporación del agua superficial del concreto, y por lo tanto la mayor condición de riesgo para la rápida desecación del concreto recién colocado. En tanto que en las zonas B y C, aun cuando representan condiciones menos desfavorables, mantienen condiciones propicias para la rápida evaporación del agua.

Carácter del lugar

Al definir el carácter del lugar, se pueden definir tres ambientes básicos de referencia: urbano, rural o industrial. En cada uno de estos sitios se pueden definir varias condiciones relativas al carácter del lugar que permiten establecer diversos subambientes; en la creación de esta subdivisión se toman como base la humedad y la exposición a sustancias químicas agresivas.

En orden de menor a mayor condición de riesgo se puede obtener la siguiente clasificación de carácter del lugar:

- **Ambiente seco**
 - Interior de habitación u oficina con humedad relativa
- **Ambiente húmedo**
 - . Habitación interior con humedad relativa > 70%.
 - . Exterior, en contacto con agua o terreno no agresivo.
- **Ambiente marino**
 - . Parcial o totalmente inmerso en el mar o zona periférica.
 - . Área rica en sales o zona costera.
- **Ambiente con ataque químico débil**


- . Contacto con sustancias débilmente agresivas.
- . Área industrial o urbana con débil contaminación.
- **Ambiente con ataque químico medio**
 - . Contacto directo con sustancias moderadamente agresivas.
 - . Área industrial o urbana con alta contaminación.
- Ambiente con ataque químico fuerte
- . Contacto con sustancias fuertemente agresivas.

Medio de contacto

Una vez colocadas, las estructuras de concreto tienen contacto directo con concreto, suelo o agua. Los últimos dos medios son los únicos que pueden tener un carácter agresivo que afecte la durabilidad de la estructura que se encuentre en contacto con ellos, y esto se debe a que de manera natural estos medios pueden contener, en concentraciones variables, sustancias agresivas que pueden causar daños al cemento portland.

Aunque la lista de sustancias agresivas para el concreto puede resultar muy larga, las que se consideran más comunes y agresivas son los sulfatos, los cloruros, los álcalis, el calcio y el magnesio.

El ataque por estas sustancias agresivas será tratado más adelante con detalle para el caso de las más importantes y comunes, pero como existen situaciones en las que las condiciones de diseño no permiten la protección total del elemento, se deben tomar precauciones para aislar la estructura de concreto de su medio de contacto, para lo cual se ha recomendado ² la aplicación de una serie de medidas en forma



individual y / o complementaria, que son las siguientes:

- Abatir el nivel freático por medio de drenes o por cualquier otro procedimiento adecuado.
- Aplicar sobre la superficie del terreno o la cimentación un producto impermeabilizador u otro material que actúe como tal, antes de desplantar la estructura de concreto.
- Aplicar un recubrimiento de protección sobre las superficies terminadas de concreto que deban permanecer enterradas.
- Sustituir el material producto de excavación por otro exento de sustancias agresivas para efectuar los rellenos de las cimentaciones.

Condiciones de servicio

Ataque por sulfatos

Los medios de contacto agresivos para el concreto están caracterizados por suelos y aguas superficiales o freáticas que contienen sustancias que atacan químicamente al concreto.

De manera común, las sales inorgánicas presentes en estos medios son los sulfatos, los cuales se encuentran en diferentes niveles de concentración en la naturaleza. Cuando se estiman en concentraciones pequeñas, se consideran prácticamente inofensivos, pero a medida que incrementan su nivel de concentración, su presencia se vuelve una condición de riesgo para las estructuras de concreto ya que puede producir cambios volumétricos⁶ en los elementos, de tal forma que

ocurra un deterioro prematuro del concreto. Cabe mencionar que la condición más desfavorable cuando existen sulfatos es cuando éstos se encuentran solubles en agua.

En la República mexicana existen numerosos sitios donde el suelo o el agua, o ambos, contienen elevadas concentraciones de sulfatos, lo cual reviste importancia cuando en estos sitios se pretende cimentar estructuras de concreto. De manera general, no limitativa, puede decirse que es conveniente evaluar esta condición previamente a la construcción, analizando el suelo y el agua, en las zonas áridas y semidesérticas del norte de la república, en la vecindad de las costas de ambos litorales, particularmente en las zonas bajas y regiones pantanosas colindantes con el golfo de México, y en los lechos de zonas lacustres desecadas tales como el lago de Texcoco.²

Exposición al agua de mar

El agua de mar contiene de manera natural elevadas concentraciones de sulfatos (1,500 ppm) y de cloruros ($> 20,000$ ppm), por lo que representa un medio de contacto francamente agresivo para el concreto, ya que se debe cuidar la combinación de efectos por la concentración elevada de este tipo de sales en el medio.

Carbonatación

Los principales efectos de la carbonatación son una clara disminución del pH de la pasta de concreto, que como consecuencia genera una disminución de la protección que da la pasta a la corrosión del acero de refuerzo. El principal promotor de la corrosión es el CO_2 que se encuentra presente en el ambiente de manera regular, cuando se combina con la temperatura, la humedad relativa y la permeabilidad del concreto.

Altas tasas de carbonatación ocurren cuando la humedad relativa se ubica entre 50 y 70 por ciento, y cuando ésta tiene valores < 25 por ciento, la carbonatación se considera insignificante. Se ha identificado que el agua contiene más de 20 ppm de CO₂ agresivo, lo cual puede favorecer la rápida carbonatación de la pasta de cemento portland; por otra parte, se ha concluido que en aguas con libertad de movimiento con 10 ppm o menos de CO₂ agresivo, el riesgo de carbonatación resulta insignificante.¹

Ataque químico

El ataque químico al concreto está representado por muy diversos componentes, los cuales pueden tener muy diversos orígenes y fuentes de aporte, de tal manera que es necesario conocerlos para reconocer cuáles son sus posibles efectos nocivos en contacto con el concreto.

Corrosión del acero de refuerzo

Se ha identificado² que la principal causa de corrosión del acero del refuerzo embebido en el concreto tiene origen en una diferencia potencial electroquímica en la que es común la presencia de una corriente eléctrica que inicia el fenómeno de corrosión electrolítica, aunque también se reconoce que este tipo de proceso se puede manifestar por un ataque químico directo.

Como consecuencia de los procesos de corrosión del acero, se pueden tener dos efectos claramente diferenciados en las estructuras de concreto. Por una parte, debido a la corrosión del acero de refuerzo disminuye la sección del acero, con lo que pierde su adherencia a la pasta, se afectan en forma negativa sus propiedades mecánicas y, por tanto, merma su capacidad de trabajo estructural. Por otra parte, ocurren

cambios volumétricos que se derivan de la formación de los productos de la corrosión, donde dichos cambios generan presiones lo suficientemente poderosas para agrietar la pasta de concreto y, en casos extremos, provocar desprendimientos de concreto.


Para mitigar la ocurrencia de los procesos corrosivos, se deben identificar las principales causas que lo favorecen, lo cual se ha hecho² de acuerdo con lo siguiente:

- Excesiva porosidad del concreto (concreto permeable al agua y al aire).
- Reducido espesor del recubrimiento de concreto sobre el refuerzo.
- Existencia de grietas en la estructura.
- Alta concentración de agentes corrosivos en los componentes del concreto.
- Manifestación de corrientes eléctricas en el concreto (corrientes parásitas o generadas internamente por diferencia de potencial).

Abrasión

Por definición, el ACI 116⁷ considera como abrasión las acciones de desgaste derivadas de la fricción y el frotamiento, mientras que la erosión corresponde a la acción abrasiva de cavitación en el concreto derivado de la acción de cualquier fluido en movimiento.

De tal forma, se identifica que la resistencia a este proceso depende de tres aspectos básicos: la resistencia intrínseca de los agregados a las acciones abrasivas y su composición granulométrica; la resistencia mecánica del concreto, específicamente a la compresión, y los diferentes aspectos prácticos involucrados en el uso del concreto y la ejecución de la obra.⁶



Las condiciones anteriores, el ACI 302⁸ las ha resumido y agrupado en una serie de deficiencias que afecta en forma directa la resistencia al desgaste de las superficies de concreto expuestas a la abrasión, por lo que para mejorar la resistencia de las estructuras a este proceso se debe evitar lo siguiente:

- Emplear excesiva agua de mezclado.
- Utilizar la cantidad de cemento adecuada, evitando la insuficiencia.
- Revenimiento alto que provoque el movimiento de las partículas ligeras hacia la superficie y el sangrado.
- Manipulación excesiva del concreto.
- Contenido de aire que no considere las condiciones de exposición.
- Prácticas inadecuadas de acabado que favorecen el proceso de sangrado.
- Realización del acabado superficial con adición de agua.
- Formas y prácticas de curado no adecuadas.
- Carbonatación.
- Disminución de la resistencia potencial del concreto.
- Apertura de la estructura al tránsito en forma prematura.

Reacciones deletéreas de los agregados

Todos los agregados son reactivos en menor o mayor grado cuando se incorporan en concreto elaborado con cemento portland. Esto sólo se convierte en un problema cuando los productos de reacción son de una composición determinada y abundantes y su toma de humedad produce fuerzas de expansión destructivas dentro del concreto. Este proceso de reacción involucra la presencia de álcalis en el concreto (usualmente

aportados por el cemento), agua y ciertos agregados silíceos. El deterioro debido a esta reacción se manifiesta usualmente en la superficie de la estructura afectada por un sistema regular de fracturas llamado mapeo o patrón de fisuramiento. Este patrón puede ser influido por el tamaño y la forma de la estructura afectada.

La reacción álcali-agregado se define como el proceso físico-químico en el que intervienen algunos minerales de los agregados y los hidróxidos alcalinos del concreto que son aportados principalmente por el cemento, los agregados o por algún agente externo. Este proceso genera presiones de poro lo suficientemente fuertes para producir fisuramiento del concreto y su consecuente deterioro.

Las condiciones que permiten su desarrollo son:

Desarrollo de altas concentraciones de hidróxidos alcalinos en la solución de poro y migración de los reactantes a los sitios de la reacción.

Reacción con las fases reactivas dentro de las partículas de agregado y formación de un producto de reacción (gel).

Flujo o absorción de un fluido en o por el producto de reacción, causando fuerzas expansivas.

El estrés o fuerza expansiva actúa en el cemento, el agregado y / o en la zona de adherencia pasta / agregado, causando fracturamiento y el subsiguiente deterioro del concreto.

Comúnmente se admite que existen tres condiciones cuya ocurrencia en el concreto es necesaria para que se produzca y manifieste una reacción álcali-agregado en grado deletéreo:

Primera . Presencia de rocas y minerales reactivos en los agregados, en las proporciones que en cada caso resulten críticas, conforme a su origen y naturaleza.

Segunda. Elevado contenido de álcalis en la mezcla de concreto para mantener una solución fuertemente alcalina en contacto con los agregados.

Tercera . Presencia de humedad capaz de permitir la formación de las soluciones de poro.⁹

Prácticas recomendadas

En la fabricación de concreto en nuestro país, los refuerzos se han concentrado en mayor forma en regular la calidad del producto, realizando para ello supervisiones estrictas sobre la calidad de los componentes, la técnica y las condiciones de producción y las características de los equipos con los que se produce. Esta situación permite que las actividades previas y posteriores a la elaboración del concreto ocupen un plano secundario en la mayor parte de los trabajos de supervisión.

En la producción de un concreto durable no es posible que las actividades involucradas en su diseño, elaboración y colocación se lleven a cabo de manera ligera. Es necesario que todas se cumplan en forma correcta, para tener la seguridad de que el concreto pueda cumplir con las necesidades para las que fue diseñado. Lo anterior se puede sustentar en el reconocimiento que existe sobre las causas principales de problemas en estructuras de concreto, en donde se ha identificado que el mayor porcentaje de defectos observados en los elementos se origina por la aplicación de procedimientos constructivos deficientes y la ignorancia o el inadecuado manejo que existe sobre el producto.

En la realidad existe una gran cantidad de prácticas constructivas recomendadas, que son de gran utilidad y están pensadas para disminuir los problemas en las estructuras de concreto. En cada una de ellas se detallan las actividades que deben realizarse en tiempo y forma, de tal manera que este tipo de trabajo no debe representar ninguna causa de deterioro acelerado del concreto.

Es una condición obligada que se cumplan todas las prácticas de construcción sugeridas en el diseño, elaboración, transporte, manejo, colocación y acabado para lograr un concreto durable, ya que esto permite hacer un uso más eficiente de los materiales, mejorar las condiciones de diseño, lograr productos de acuerdo con las necesidades del proyecto, disminuir los costos de mantenimiento, mejorar la relación costo / vida útil, etcétera.

Conclusiones

El acelerado deterioro de las estructuras de concreto es la causa fundamental para que se dé un cambio en el diseño y construcción de las mismas. Dicho cambio tiene la obligación de analizar en forma particular las condiciones de exposición y servicio de cada elemento y ejecutarlas mediante la aplicación de las prácticas constructivas recomendadas por los comités internacionales de construcción.

La evaluación sistemática de las solicitudes de cada estructura de concreto redundará en beneficios económicos para todas las partes involucradas al hacer estructuras más duraderas y seguras.

En la utilización de concreto durable no es posible realizar análisis de costos simplistas, al comparar productos convencionales contra aquellos que son de alto comportamiento, ya que

si tomamos en cuenta los casos presentados en este documento, se puede concluir con claridad que los costos finales derivados del producto original, su mantenimiento y reparación, serán siempre superiores a los costos originales derivados de un producto de alto desempeño.

De los casos analizados se desprenden dos observaciones significativas, dignas de ser comentadas:

Primera. En el caso 1, la resistencia a la compresión obtenida es muy superior a la especificada en el proyecto, es decir, se puede concluir que la resistencia mecánica no es un factor definitivo en el incremento de la durabilidad y se observa una gran cantidad de defectos derivados del diseño y de malas prácticas constructivas que favorecen el tipo de daño que se encuentra en los elementos.

Segunda. En el segundo caso se observa la poca efectividad que tienen las técnicas de reparación cuando las condiciones de servicio de la estructura son severas.

Referencias

1. ACI Committee 201, "Guide to durable concrete". Report ACI 201R, American Concrete Institute, Detroit, EUA, 1982.
2. Comité ACI 201, "Suplemento mexicano del Comité ACI 201 Guía para la Durabilidad del Concreto", Sección Centro-Sur del American Concrete Institute, Guía del consumidor de concreto premezclado de Cemex , 4ª. ed., 1998.
3. ACI Committee 305, "Hot weather concreting", Report ACI 305R, American Concrete Institute, Detroit, EUA, 1991.
4. U.S. Bureau of Reclamation, Concrete


- 
- manual, 8ª. ed., U.S. Department of the Interior, Washington, D.C., EUA, 1975.
 5. Mena, F.M., Concreto en clima caluroso, Memorias del Seminario Internacional sobre Tecnología del Concreto: Durabilidad, Monterrey, N.L., México, 1993.
 6. ACI Committee 222, "Hot weather concreting", Report ACI 222R, American Concrete Institute, Detroit, EUA, 1991.
 7. ACI Committee 116, "Cement and concrete terminology", Report ACI 116R, American Concrete Institute, Detroit, EUA, 1991.
 8. ACI Committee 302, "Guide for concrete floor and slab construction", Report ACI 302R, American Concrete Institute, Detroit, EUA, 1980.
 9. Uribe, A.R., Manual para la identificación de rocas y minerales, Dirección Técnica y Operación de Agregados, México, 1995.

Figura 1. Zonas con diferente condición climática en relación con la humedad relativa.

Este artículo reproduce una ponencia presentada por el autor en el XI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural celebrado en Monterrey, Nuevo León.

El ingeniero Roberto Uribe Afif es investigador del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Concreto de Cemex.

**Instituto Mexicano del Cemento y del
Concreto, A.C.**

Revista Construcción y Tecnología

Febrero 2000

Todos los derechos reservados

[ARTICULO ANTERIOR](#)



[ARTICULO SIGUIENTE](#)



Aseguramiento de la calidad



La tendencia actual en la industria de la construcción es una programación acelerada que, en opinión del autor, es contraria al mejor interés de asegurar la calidad. Ni el propietario, ni el representante del propietario, ni el contratista, están asignando en el programa de construcción el tiempo adecuado para resolver los problemas de calidad hasta que éstos se convierten en problemas mayores. La fuerza decisiva no es la calidad del trabajo, sino que continúa siendo la productividad y el cumplimiento del programa de construcción, a cualquier precio.

Las consecuencias de esta actitud son la pérdida de destreza y generalmente, la aceptación de un trabajo de calidad inferior. Con frecuencia se nos hace más fácil reparar o remover y reemplazar un trabajo de baja calidad, generalmente a un gran costo, en vez de haber luchado por que se hiciera correctamente desde el principio. ¿Cuántas veces hemos escuchado decir a alguien sobre un proyecto: "Si se hace de la manera correcta la primera vez, se evitará un dolor de cabeza para todos"? Nada puede ser más verdadero, excepto agregar a la frase las palabras "y siempre".

Otras tendencias recientes en la industria de la construcción son las especificaciones de comportamiento y el control de calidad del contratista. Aunque ambas han tenido mucho éxito en algunos proyectos, en otros han sido desastrosas. ¿Qué es lo que determina la diferencia? En opinión del autor, mucho de esto depende de la naturaleza del trabajo. Sin embargo,

Resumen:

Mucho se habla actualmente de la calidad y mucho preocupa lograrla, pero, ¿cuáles son realmente los aspectos clave a los que hay que dar prioridad para que una obra de concreto alcance el nivel que determinan las normas? Esta es la pregunta que responde un experto con amplia experiencia y autoridad en el tema.

Aquí! 

los proyectos exitosos tienen comúnmente especificaciones y dibujos bien detallados, un contratista, así como personal de supervisión experimentado en el tipo específico de trabajo de concreto y apoyo en un nivel superior de la administración del contratista para asegurar la calidad. Si no se cumplen las especificaciones de rendimiento y de control de calidad del contratista para producir los resultados deseados, significa que uno o más de los puntos mencionados arriba no se han tomado en cuenta o son inadecuados. Tal como se establece en la introducción al ACI SP-2, no es necesario que el trabajo de concreto se caiga para que se le considere un fracaso. ¿Qué es, pues, lo que se necesita para evitar fallas de comportamiento?

En nuestra industria, muchos creen que las pruebas son la clave para lograr un proyecto de calidad y, por lo tanto, son muy exigentes respecto a ellas durante la construcción. Aunque no aboga por tal práctica, el autor sostiene que se puede construir un proyecto de concreto de calidad con pocas pruebas durante su realización.

Si se cuenta con una especificación bien preparada y detallada, materiales de calidad probada, mezcla o mezclas de concreto preensayado e inspectores experimentados, se puede producir una obra de concreto de calidad sin tener que hacer una prueba de revenimiento ni colar un solo cilindro. La supervisión en la planta de dosificación asegurará que ésta se encuentre apropiadamente calibrada y en buenas condiciones de trabajo, que los materiales se manejen y almacenen apropiadamente, que se dosifique el peso requerido de cada material y que el concreto se mezcle con el equipo apropiado y se entregue en la obra tan rápidamente como sea posible. Los supervisores en la obra asegurarán que la localización esté lista para recibir el concreto. Esto incluirá la verificación del refuerzo y los materiales para juntas, de la limpieza de los cimientos o las juntas de construcción, del

cimbrado y del equipo de colocación y compactación, para garantizar que todos estos aspectos estén de acuerdo con los planos y las especificaciones. También verificarán que se haya ordenado la mezcla apropiada para el trabajo.

Los supervisores en la obra verificarán visualmente la consistencia del concreto al ser entregado y avisarán a la planta de mezclado si hubiera necesidad de cualquier ajuste. Los supervisores de concreto más experimentados pueden ciertamente juzgar el revenimiento del concreto con un error de más o menos 40 mm por medio de un examen visual. Puesto que el contenido de aire en el concreto no puede juzgarse por ningún método visual, se tendrían que hacer pruebas de contenido de aire si se requiriera aire incluido para la durabilidad.

Los supervisores en la obra también podrán verificar que el concreto se coloque rápidamente en los moldes, a la profundidad debida de la capa, sin que haya segregación o separación, usando el equipo apropiado. También asegurarán que cada capa se compacte total y apropiadamente, que los moldes permanezcan firmes en la alineación adecuada, que se ejecuten las operaciones de acabado requeridas, en el momento apropiado y que se apliquen las medidas de curado y protección tan pronto como sea posible al término del trabajo de acabado. También harán un seguimiento de las colocaciones de concreto para verificar que el curado y la protección sean continuos para el período de tiempo especificado, que los moldes sean removidos sin causar ningún daño al nuevo concreto, y que se realicen las reparaciones mínimas y los tratamientos de superficie tan pronto como sea posible y en el tiempo especificado.

Estos mismos supervisores garantizarán que los problemas se resuelvan y corrijan inmediatamente, y que el trabajo se haga con destreza. En consecuencia, no hay razón para esperar otra

cosa que no sea una construcción de concreto de calidad, con el comportamiento esperado, para la vida de servicio anticipada.

Por otro lado, el autor cree que a pesar de todas las pruebas de concreto fresco que uno quisiera o pudiera realizar, un proyecto de concreto de calidad no puede construirse sin buenas especificaciones respecto a los materiales y la manera en que debe realizarse el trabajo, y sin una supervisión minuciosa conforme se realiza. Entonces, ¿dónde debemos aplicar nuestro mejor esfuerzo?

El programa de control de calidad

Una de las decisiones primeras durante la preparación de los documentos del contrato es la determinación de cómo habrá de manejarse el control de calidad de la obra. Se han usado dos métodos básicos: control de calidad por parte del propietario o del representante del propietario y control de calidad por el contratista. En años recientes, el control de calidad por el contratista se ha vuelto muy popular y se emplea comúnmente en combinación con las especificaciones del tipo de comportamiento. La popularidad de esta práctica deriva del apremio por parte de la industria de la construcción para eliminar especificaciones preceptivas. Es también el resultado de que los representantes del propietario no desean ejercer o aceptar responsabilidad por las decisiones de la construcción y la posibilidad de litigio que se deriva de estas decisiones. En algunos casos, se puede especificar control de calidad del contratista en un esfuerzo por reducir los costos de construcción. Cuando se emplee el control de calidad del contratista, el propietario o el representante del propietario deberán proporcionar

un mínimo de supervisión y pruebas de aseguramiento de la calidad, para confirmar que el contratista está manteniendo el control de calidad del trabajo y para verificar la precisión de los resultados de prueba del contratista.

Si el contratista ha de ser el responsable total de la calidad de la obra y del control de calidad, los documentos del contrato deben ser específicos en cuanto a lo que se requiera de él. Esto es necesario para que la licitación del contratista refleje el nivel de control de calidad esperado. El autor recomienda que el control de calidad esté asentado como un ítem separado del pago global, en contratos por precio unitario. Tal práctica permitirá que el ingeniero evalúe el esfuerzo que el contratista se propone aplicar al control de calidad, y proporcionará un apalancamiento de pago en el caso de que no se cumplan los requisitos de las especificaciones sobre el control de calidad.

Las disposiciones de las especificaciones para el control de calidad del contratista deben incluir como mínimo lo siguiente:

- Un representante designado como gerente de control de calidad que informe a los niveles superiores de la administración, fuera del proyecto inmediato, y que sea el responsable del control de calidad del trabajo.
- Los requisitos para la preparación de un programa de control de calidad que ha de ser administrado por el gerente de control de calidad, que detalle la manera en que el contratista pretende asegurar el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones.
- El gerente de control de calidad debe tener la autoridad para detener la obra si fuera necesario, hasta que se corrijan el trabajo o los materiales deficientes.

- La documentación requerida y el programa de presentaciones.
- La certificación de supervisores y técnicos.
- Medios para pruebas requeridas y calibración del equipo.
- Una lista de las pruebas que han de hacerse, y la frecuencia mínima con que se realizarán.
- Los requisitos para manejar un trabajo que no cumpla con las normas, y
- Requisitos para la preparación de un informe mensual que incluyan un resumen de las pruebas, el análisis de los resultados de las mismas y la forma de presentación.

¿Qué es lo que puede salir mal con un programa de control de calidad del contratista? Los problemas más frecuentes con el control de calidad de un contratista son las fallas en la organización del control de calidad para tratar el incumplimiento en materiales y en mano de obra y emprender la acción correctiva inmediata. Es aquí donde la organización del control de calidad necesita el apoyo de la administración de nivel superior del contratista y un compromiso firme para lograr la calidad. Con mucha frecuencia, el personal de producción del contratista controla el trabajo y, desafortunadamente, se ignora la organización del control de calidad. Por lo tanto, cuando el sistema no funciona, la organización para el aseguramiento de la calidad del propietario usualmente tiene que intervenir y resolver las disputas de calidad. Esto pone una carga mucho mayor en la organización del aseguramiento de la calidad y tiende a incrementar la fricción y a provocar una relación de adversarios entre las varias partes involucradas en el proyecto. El proyecto resulta perjudicado y el contratista rara vez ve el beneficio esperado.

Con base en la experiencia, el autor cree que el control de calidad del contratista debe estar limitado a proyectos de tamaño pequeño o mediano, de naturaleza no complicada. La única excepción podría ser un contrato negociado con un contratista con el cual el propietario hubiera tenido una experiencia previa.

Cuando el propietario decida proporcionar las pruebas para el control de calidad y la supervisión total de la obra, el ingeniero de diseño deberá preparar un memorándum de control de calidad para el personal de la obra en el que detalle el programa de control de calidad esperado durante la construcción.² Los documentos del contrato deberán notificar al contratista que el propietario mantendrá la supervisión y prueba de la obra. Deberá exigirse al contratista que proporcione muestras para fines de prueba, así como el equipo y la mano de obra necesarios para obtener muestras representativas de los materiales y el concreto entregado. También habrá que advertir al contratista que pueden requerirse ajustes de mezcla con base en el comportamiento durante la construcción.

Las especificaciones

Hace más de 20 años, Lewis Tuthill dictó una conferencia sobre "Juegos que la gente juega con el concreto." En esa conferencia, Tuthill declaraba: "Además, es insensato suponer que una especificación del tipo "comportamiento" puede ser apropiada para la construcción con concreto. Excepto para la resistencia y apariencia del concreto, no existe una medida temprana del comportamiento de la construcción. Cada paso debe ser especificado y supervisado conforme se vaya realizando, porque únicamente la superficie será finalmente visible. Hay que dar al constructor

una idea del equipo y los métodos que han de usarse, a menos que pueda demostrar resultados iguales o mejores por otros medios."

El autor apoya enfáticamente las aseveraciones de Tuthill. Al igual que ocurre con el control de calidad del contratista, las especificaciones de comportamiento deben limitarse a proyectos pequeños o medianos de naturaleza no complicada. Es verdad que la mayoría de los proveedores de concreto conoce mejor que nadie sus materiales y el comportamiento que puede esperarse de su concreto. Sin embargo, el autor ha descubierto que los proveedores hacen un insatisfactorio trabajo de proporcionamiento de la mezcla cuando se requieren concretos especiales o más sofisticados. Cuando vayan a emplearse estos concretos, las especificaciones deben ser preceptivas y el ingeniero debe asumir la responsabilidad por el comportamiento del concreto.

Deben emplearse también especificaciones preceptivas en todos los proyectos grandes y complicados en los que estén bien justificados la supervisión y las pruebas por parte del propietario o el representante del propietario. A fin de proporcionar flexibilidad en el proporcionamiento de las mezclas, por lo regular el cemento portland y los aditivos puzolánicos se pagan por precios unitarios separados, además del precio unitario por metro cúbico para cada tipo de concreto colocado en la obra.

El ACI 301, "Especificaciones Estándar para Concreto Estructural," ha sido desarrollado y debe usarse en la mayor parte de las estructuras de edificios y obras de construcción con concreto rutinarias. Sin embargo, en proyectos de construcción grandes y complicados, que requieran concretos estructurales, las especificaciones del concreto deben escribirse de manera específica para esa obra. Se debe considerar el volumen de concreto involucrado en

el proyecto que pueda justificar medidas inusuales para contribuir a un mejor concreto. Cuando el volumen de concreto exceda de 15,000 a 23,000 m³, estas medidas inusuales pueden incluir alguno o varios de los siguientes puntos:

- Planta de dosificación en la obra controlada por computadora, con mezclado central.

- Uso de agregados gruesos más grandes, si fuera apropiado, con base en el espesor de las secciones de concreto y la cantidad de refuerzo. (También se debe advertir al contratista que la colocación y compactación de este concreto puede ser más difícil que en el concreto de tamaño de agregado más pequeño).

- Relavado y recribado de agregados gruesos conforme se introducen en los recipientes de almacenamiento elevados de la planta de dosificación.

- Uso de hielo en lugar de una mayor porción del agua de mezclado y otros métodos de preenfriamiento, para producir concreto tan cercano a los 10 °C como sea posible.

- Equipo de transportación distinto de las mezcladoras de camión, que sea capaz de transportar rápidamente el concreto especificado desde la planta hasta el área de colocación.

- Equipo de colocación y compactación capaz de manejar mezclas de concreto de bajo revenimiento que puedan tener menos material cementante y agregados finos que el comúnmente usado.

Las especificaciones también pueden contener requisitos de materiales más restrictivos que los límites del ASTM, tales como limpieza y granulometría de los agregados, resistencia y contenido de álcalis del cemento y contenido de

carbón de la ceniza volante, por ejemplo. Sin embargo, los límites agregados deben ser factibles, y los materiales que cumplan con estos límites deben ser económicamente obtenibles. Además, deben incluirse criterios de aceptación, con base en más de una prueba, tal como una muestra de cada cinco permitida fuera de los límites de la especificación. La prueba que falle debe anotarse como suficiente para iniciar la acción correctiva. Siempre que sea posible, deben especificarse los rangos en la cantidad de cemento, material puzolánico, aditivos químicos, etc., de modo que el contratista tenga alguna información sobre las cantidades de estos materiales que vayan a utilizarse en el concreto.

Las especificaciones deben establecer claramente quién es el responsable del proporcionamiento de la mezcla, y qué criterios de proporcionamiento de la mezcla se utilizarán. Ya sea que la especificación se dé en términos de comportamiento o prescripción, con respecto al proporcionamiento de la mezcla, la especificación debe establecer la resistencia específica y la edad de la medición para cada tipo de concreto, y dónde se colocará en la obra. Si la especificación está basada en el comportamiento, deben proporcionarse los criterios de aceptación de resistencia, así como los procedimientos para la investigación de la baja resistencia. El propietario debe reservarse el derecho de ordenar la remoción y el reemplazo de cualquier concreto que sea defectuoso o que no cumpla con los criterios de resistencia para su aceptación.

Si se usan especificaciones del tipo preceptivo, debe exigirse al contratista que proporcione muestras de los materiales que se han propuesto para usar. Estas muestras deben proporcionarse con suficiente anticipación a la fecha esperada del comienzo de la obra, y deben ser del tamaño suficiente para que el laboratorio del dueño pueda preparar y probar mezclas de prueba de laboratorio para cada tipo de concreto.

Al contratista nunca debe pagársele el concreto con base solamente en los resultados de la prueba de resistencia. Si las mezclas se monitorean apropiadamente, y se ajustan como debe ser, no hay razón para esperar concreto en la obra que no vaya a proporcionar un comportamiento satisfactorio. Puede ser que los resultados de las pruebas de resistencia no tengan que ver con la resistencia real de la estructura. En un caso particular, el propietario retuvo los pagos, que totalizaban varios cientos de miles de dólares, al contratista debido a que los resultados de control de calidad del laboratorio de su subcontratista no llenaron los requisitos especificados. Sin embargo, las pruebas de control de calidad del laboratorio del propio propietario, sobre el mismo concreto, y las pruebas de corazonces de muestras, mostraron que las pruebas de control de calidad del subcontratista eran erróneas. La cuestión es que el propietario recibió el producto esperado –que satisfacía los requisitos de resistencia especificados–, y el contratista tuvo que recibir justificadamente el pago completo atrasado por ese producto.

Como afirmó Tuthill, los ingenieros no deben vacilar en especificar equipo y métodos de construcción que hayan sido probados y que sean recomendables para el trabajo. Los documentos del ACI están llenos de guías y recomendaciones para producir resultados exitosos. Por lo tanto, debe incorporarse el texto apropiado en las especificaciones para asegurar el uso adecuado.

Se ha encontrado que dos áreas particulares son problemáticas durante la construcción, y con frecuencia no son tratadas adecuadamente en las especificaciones técnicas. Estas áreas son la congestión y la compactación. La congestión ocurre generalmente en áreas localizadas de la obra que requieren especial atención. Como se establece en el ACI 309: "Las áreas congestionadas son aquellas en las cuales el acero de refuerzo, los empotramientos, las cajas

de registro, los ductos y los anclajes presforzados, o las configuraciones y forma de los moldes, hacen difícil lograr la colocación y compactación del concreto". Cuando existen estas condiciones, las especificaciones deben permitir el uso de mezclas de concreto que se puedan colocar adecuadamente y compactar completamente en las áreas congestionadas. Esto puede requerir el uso de agregado grueso más pequeño que el normal, y de concreto fluido producido con aditivos que se diseñan para este propósito. Sin embargo, el uso de tales aditivos también debe restringirse a sólo aquellas áreas que lo requieran. El ingeniero no debe temer utilizar más de una mezcla de concreto en una colocación particular si todo el concreto se diseña o proporciona para producir propiedades similares. Siempre debe usarse agregado grueso del tamaño nominal máximo más grande que sea consistente con el trabajo, cuando se desee un concreto más durable. Las especificaciones deben también permitir el uso de pequeños vibradores de inmersión para complementar los vibradores grandes allí donde el acceso para éstos sea limitado. Por último, el ingeniero debe localizar las juntas de construcción horizontales en muros, vigas o trabes de gran peralte y columnas para eliminar el acceso restringido a las capas múltiples de refuerzo en las intersecciones con las losas.

La otra área comúnmente descuidada en las especificaciones es la compactación del concreto. Declaraciones tales como "el concreto debe ser completamente compactado" no tienen sentido. ¿Quién ha visto que el concreto sea apropiadamente compactado como se recomienda en el ACI 309?⁶ ¿Ha revisado usted últimamente el ACI 309 para ver qué es lo que se recomienda, y si eso es lo que se observa en su proyecto? Muchos superintendentes del concreto no saben cómo compactar apropiadamente el concreto, de modo que, ¿puede esperarse que los operarios que están haciendo la obra conozcan las prácticas

correctas? La mayoría de los problemas de compactación son el resultado directo de vibración insuficiente más que la sobrevibración. Por lo tanto, las especificaciones deben establecer lo siguiente:

- El tamaño y tipo de los vibradores que han de usarse, con base en el tipo de concreto requerido para el trabajo, y que estos vibradores estén en buenas condiciones de trabajo y proporcionen la presión de aire y el voltaje suficiente para que operen apropiadamente.

- Que los vibradores se inserten verticalmente y de tal modo que penetren rápidamente la capa que está siendo vibrada, y luego que se puedan sacar lentamente de manera que se remueva el aire atrapado.

- El concreto en los cimientos o en las juntas de construcción debe recibir más esfuerzo de vibración para asegurar el contacto íntimo del concreto fresco con el cimiento o el concreto previamente colocado.

- En colocaciones de capas múltiples, el vibrador debe penetrar en la capa subyacente, y no debe colocarse una nueva capa hasta que la vibración se haya completado en toda la superficie de la capa.

- Que cada capa sea sistemáticamente vibrada, de modo que en cada inserción el radio de acción del vibrador se sobreponga al del concreto previamente vibrado.

- Que se conceda atención y esfuerzo especiales a la vibración del concreto alrededor de los empotramientos y en las esquinas de las cimbras.

- Que se procuren vibradores extras en el proyecto.

Se ha encontrado que la vibración retardada de la capa superior reduce los huecos causados por el sangrado e incrementa la resistencia a la compresión de este concreto. Debe incluirse esta disposición en las especificaciones, cuando sea apropiado.

Con frecuencia se culpa a los paquetes de agregado en esquinas verticales y a lo largo de juntas de construcción horizontales, por la falta de consolidación. Sin embargo, en la mayoría de los casos, estos paquetes de agregado han sido causados por la pérdida de lechada (pasta de cemento y arena fina) de la mezcla de concreto, debido a que las cimbras no están adecuadamente apretadas para evitar la fuga de mortero. Las especificaciones deben exigir cimbras que no tengan fugas de mortero. Además, deben requerir que los moldes de uso múltiple no se traslapen con el concreto previamente colocado en más de 25 mm, y que se use anclaje complementario para evitar que los moldes se expandan y causen resaltos y pérdida de lechada a lo largo de estas juntas. Deben requerirse tablas de nivel y de diseño a lo largo de las juntas de construcción horizontales, para asegurar una línea de junta uniforme a la elevación apropiada.

Además, el ingeniero debe reconocer que no todo el trabajo de concreto es perfecto. Casi siempre se requieren pequeños trabajos de reparación. Por lo tanto, las especificaciones deben incluir disposiciones para la reparación del concreto. Debe hacerse notar aquí que el concreto se repara, no se "parcha". Un parche es un recubrimiento. En las especificaciones deben incluirse disposiciones para la preparación de la reparación, materiales y métodos de reparación, así como el curado del trabajo de reparación, de modo que el contratista sepa cómo se requerirá que se haga ese trabajo. Las especificaciones también deben establecer que el trabajo de reparación se haga tan pronto como se pueda.



El contratista

El contratista debe seleccionarse con base en su capacidad para hacer el trabajo tal como se especifica en los documentos del contrato. En proyectos grandes o complicados, el propietario debe exigir la precalificación de los contratistas antes de la licitación de la obra. El autor ha descubierto que no es suficiente calificar a un contratista basándose solamente en proyectos previos de construcción de naturaleza similar. Estos proyectos previos pudieron haber sido construidos de un concreto similar a los tipos requeridos en las especificaciones del proyecto. Los contratistas que pueden haber construido plantas de energía nuclear usando mezclas de concreto con un agregado de tamaño nominal máximo de 1.5 o 0.75 pulg. (40 o 20 mm) no tienen un concepto del esfuerzo adicional que se requiere en la colocación y compactación de mezclas de concreto que contienen agregados de un tamaño nominal máximo de 3 pulg. (75 mm) para una planta hidroeléctrica. Por lo tanto, el propietario debe exigir más experiencia específica y debe tener precaución en la precalificación de los contratistas.

Si han de esperarse buenos resultados, el superintendente del contratista debe estar orientado hacia el logro de la calidad, debe estar bien informado sobre las prácticas apropiadas y correctas de construcción en el trabajo que estará supervisando. Es aquí donde la experiencia y la capacitación son extremadamente importantes. No puede esperarse de la mano de obra trabajos de calidad, si la conducción no sabe cómo lograr esto. Yo creo que el ACI puede tener gran influencia en esta capacitación. Todo el personal de supervisión debe estar informado de las guías del ACI y las prácticas recomendadas contenidas

en muchos de los documentos de los comités técnicos del ACI. Después de todo, estos documentos se basan en años de experiencia en aquellas prácticas que producen resultados aceptables.

Además, como lo cita R.F. McMillen en el ACI SP-2: "Muchos que han estado interesados en la causa de lograr mejor concreto han notado la dificultad de hacer un progreso real hasta que alguien con autoridad se convence de que puede lograrse un buen concreto, que es necesario lograrlo y, estando así convencido de esto, ordena que se logre." Por lo tanto, la administración de proyecto del contratista y los niveles superiores de administración deben apoyar la supervisión de la línea, no solamente en el comportamiento de la obra de acuerdo con los documentos del contrato, sino en la destreza apropiada.

La destreza se define en el Diccionario Webster como "el arte o la habilidad de un trabajador; también la calidad que se imparte a una cosa en el proceso de hacerla." Vale la pena hacer notar que usted no puede efectuar una prueba de destreza. La destreza requiere atención a los detalles y buen juicio.

El equipo del proyecto


Otro aspecto extremadamente importante para lograr un proyecto de calidad es la selección de su personal, tanto por el propietario o su representante como por el contratista. En ambos casos, el personal debe estar comprometido para lograr la calidad y debe ser capaz de trabajar como un solo equipo durante el periodo de construcción. La comunicación es esencial. La práctica actual para establecer una comunicación en ambos sentidos y un espíritu de trabajo

conjunto es la camaradería, la cual generalmente se da al inicio del proyecto y establece las metas del equipo.

El equipo de administración no construye el proyecto. Es la mano de obra quien lo hace. Sin embargo, para que el trabajo progrese de una manera ordenada, la administración debe asegurar que la obra esté adecuadamente planeada y que se proporcionen los recursos suficientes, la mano de obra calificada, los materiales especificados y el equipo apropiado para mantener el programa de construcción. También debe asegurar que todos los problemas de construcción se resuelvan a tiempo, de modo que el programa no sufra ningún impacto adverso.

La administración del contratista debe preparar y presentar la documentación requerida, tal como se especifique en los documentos del contrato. Es importante que esta documentación esté completa en todos los aspectos, y que sea presentada dentro del tiempo especificado. Se puede perder un tiempo precioso en la revisión y nueva presentación si los requisitos no son claros y si las presentaciones no contienen toda la información requerida. El propietario o el representante del propietario son los responsables de una revisión oportuna de la documentación del proyecto. Los encargados de la revisión deben estar bien informados sobre el material cubierto en esta presentación. El autor ha visto surgir problemas mayores al comienzo de la construcción debido a que el equipo propuesto y proporcionado no cumplía con los requisitos especificados o no era el apropiado para el tipo de trabajo de concreto que se estaba haciendo. El tiempo para rechazar tal equipo es durante el proceso de revisión, no después que la obra haya comenzado.

Finalmente, el equipo del proyecto debe tener un sistema de monitoreo en obra que alerte al equipo sobre problemas potenciales tan pronto como sea



posible, de modo que puedan tomarse las medidas correctivas de inmediato. Estos problemas pueden incluir conflictos con la programación y deficiencias en los materiales de construcción o la mano de obra.

El o los supervisores

El último aspecto, y posiblemente el más importante, para asegurar la calidad, es la supervisión de la obra. Los contratistas resolverán qué se supervisa y no qué se espera. Los supervisores deben asegurarse de que el trabajo esté hecho de acuerdo con los documentos del contrato. El momento para corregir deficiencias es mientras el trabajo se está realizando, no más tarde, bien sea que la inspección la haga la organización de control de calidad del contratista o el propietario, o su representante. La documentación de las deficiencias observadas no tiene sentido para cambiar el trabajo que ya esté completo. El objetivo de la construcción de calidad sólo puede lograrse si el supervisor observa visualmente el trabajo mientras se está realizando y confirma que es suficiente y está de acuerdo con los requisitos de la especificación.

Los instrumentos del supervisor son las especificaciones y los dibujos. Por lo tanto, es esencial que éstos estén completos y detallados. El supervisor no puede exigir más de lo que está contenido en tales documentos, y cuando se observen deficiencias, éstas deben ponerse de inmediato bajo la atención del supervisor de la construcción.⁷ Si el trabajo continúa de una manera no satisfactoria, debe notificarse a un nivel de autoridad superior. Si las condiciones persisten y no se corrigen, la obra debe ser detenida, pero sólo como un último recurso. Si fuera necesario, es mejor detener la obra en una

etapa temprana y corregir los problemas antes de que se sienta algún precedente y la acción correctiva sea más difícil. En este tipo de condiciones, todo el equipo del proyecto debe mostrarse sensible, si se pretende lograr un trabajo de calidad y evitar retardos en el programa del proyecto.

Como se establece en el ACI SP-2, los supervisores deben estar bien informados, ser justos y firmes. De ninguna manera deben dar órdenes al contratista, y no deben desalentar ni impedir la inventiva o la innovación de parte de éste, en la medida en que los resultados requeridos se logren. Los supervisores deben ejercer un buen juicio para hacer valer las especificaciones, y deben conocer cuáles detalles son importantes y cuáles no. Un revenimiento de 5mm fuera de los límites especificados se vuelve insignificante si el concreto se coloca en forma inadecuada, de manera que ocurra segregación o separación.

Parfraseando a Ralph Peck, un consultor geotécnico muy bien conocido: "Mientras persista el mito de que sólo lo que puede medirse o calcularse constituye la supervisión, los supervisores carecerán del incentivo o la oportunidad para aplicar su mejor juicio a los problemas cruciales de calidad que no pueden resolverse por mediciones o cálculos."

Tuthill también se refirió a los factores que afectan la calidad cuando dijo: "Por ejemplo, se requerirá que los ingenieros y arquitectos respalden firmemente sus propias especificaciones. Esto no jalará el tapete a los supervisores capaces que se esfuerzan por ver que se cumplan sustancialmente las normas, ni hará concesiones cuando se observe un obvio descuido de los requisitos de la especificación, los cuales presumiblemente fueron la base para comprometerse con la obra."



Resumen

En resumen, si se nos pregunta en qué debemos apoyarnos para asegurar la calidad, la respuesta es la siguiente:

- Especificaciones técnicas apropiadas para la obra.
- Un compromiso sincero y firme con la calidad por parte del propietario y los contratistas.
- Una junta de todo el personal del proyecto que esté comprometido con la calidad y esté dispuesto a detener una obra si fuera necesario, a fin de lograrla, y
- Exigencia del cabal cumplimiento de los requisitos técnicos de la especificación por parte de los conocedores de la buena práctica de construcción y de las razones de la existencia de los requisitos específicos.

Referencias.

1. *ACI Manual of Concrete Inspection, SP-2, 8^a ed.*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., agosto de 1992.
2. Mass, G.R., "Concrete quality control and quality assurance on strontia springs dam", *Proceedings, Hydropower Recent Developments*, American Society of Civil Engineers, Nueva York, 1985, pp. 76-90.
3. Tuthill, L.H., "Games people play with concrete", *ACI Journal, proceedings*, vol. 73, núm.

12, diciembre de 1976, pp. 671-678.

4. ACI Committee 301, "Standard specification for structural concrete (ACI 301-96)", American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1996, 43 pp.

5. ACI Committee 309, "Guide to consolidation of concrete in congested areas (ACI 309.3R-92)", American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1992, 10 pp.

6. ACI Committee 309, "Guide for consolidation of concrete (ACI 309-96)", American Concrete Institute Farmington Hills, Mich., 1997, 40 pp.

7. Mass, G.R., "Improving concrete construction quality by observation", *Concrete International*, vol. 5, núm. 1, enero de 1983, pp. 18-23.

8. Tuthill, L.H., "Obtaining quality in concrete construction", *Concrete International*, vol. 8, núm. 3, marzo de 1986, pp. 24-29.

9. Peck, R.B., "Where has all the judgement gone?", The fifth Laurits Bjerrum memorial lecture, Norwegian Geotechnical Institute, Oslo, mayo de 1980.

Gary R. Mass, Miembro del ACI es consultor sobre concreto en Littleton, Colorado. Es expresidente del ACI 207, Concreto Masivo, y del ACI 211, Proporcionamiento de Mezclas de Concreto, y miembro de los Comités 210, Deterioro del Concreto en Estructuras Hidráulicas; 221, Agregados; 304, Medición, Mezclado, Transporte, y Colocación del Concreto; 309, Consolidación del Concreto; y 325, Pavimentos de Concreto.

**Instituto Mexicano del Cemento y del
Concreto, A.C.**

Revista Construcción y Tecnología
Febrero 2000
Todos los derechos reservados

[ARTICULO
ANTERIOR](#)



[ARTICULO
SIGUIENTE](#)

El laboratorio del IMCYC recibe el certificado de acreditación del ICBO SE

El Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto acaba de recibir el certificado de acreditación que otorgó a su laboratorio el Servicio de Evaluación de la International Conference of Building Officials (ICBO) –en español, Conferencia Internacional de Funcionarios de la Construcción.

Aquí! 



El Servicio de Evaluación (ICBO ES), que surgió en su momento como un comité en el seno de la ICBO, es actualmente una corporación subsidiaria de ésta que desarrolla funciones de evaluación de materiales y métodos de construcción alternos y verifica que cumplan con el Uniform Building Code (UBC) –en español, Código Uniforme de Edificación–, y lo mismo hace con instalaciones hidráulicas, sanitarias y mecánicas de la construcción de edificios.

Además de este servicio, ofrece la acreditación de laboratorios de pruebas y ensayos y de organismos de

control de calidad e inspección regidos por el UBC. Tal acreditación está basada en las guías 25 y 39, respectivamente, de las normas ISO.

ICBO ES cuenta con personal técnico de primer nivel que trabaja para mantener las normas más altas mediante la investigación analítica y el conocimiento exhaustivo de los materiales y métodos de construcción. Como empresa de servicio, brinda su experiencia técnica y proporciona vigilancia local de laboratorios de pruebas y ensayos y de fabricantes de productos.

Al recibir su acreditación, el laboratorio del IMCYC pasa a tener un reconocimiento internacional que certifica la validez de las pruebas físicas de cemento, agregado y concreto que realiza bajo las normas ASTM C 29, C 31, C 39, C 40, C 42, C 78, C 109, C 117, C 127, C 128, C 136, C 138, C 140, C 143, C 151, C 172, C 187, C 188, C 191, C 192, C 204, C 230, C 231, C 266, C 305, C 430, C 451, C 469, C 511, C 566, C 597, C 702 y D 75. Hay que decir que es el único laboratorio en América Latina que cuenta con tal certificación.

Esto significa un logro importante para el Instituto y un beneficio para la industria mexicana de la construcción, en especial para aquellas empresas que exportan sus productos a Estados Unidos y en lo sucesivo podrán someter sus muestras a pruebas en laboratorios nacionales en lugar de enviarlas a evaluar al país vecino.

En definitiva, un paso más del IMCYC en la búsqueda de la excelencia y, por tanto, una buena forma de entrar al 2000.

**Instituto Mexicano del Cemento y del
Concreto, A.C.**

Revista Construcción y Tecnología

Febrero 2000

Todos los derechos reservados

[INDICE](#)



[ARTICULO
SIGUIENTE](#)