



Tecnología del concreto premezclado



Aquí! 

Ingeniero César Constain Van-Reck

En las últimas décadas se ha estado dando un fenómeno migratorio de la población rural hacia las ciudades en todo el mundo. En 1950¹ había 83 aglomeraciones urbanas con más de un millón de habitantes; para 1970 la cifra era de 165, en 1996 creció aún a 336 y se espera que en el año 2015 haya 527 aglomeraciones urbanas con más de un millón de habitantes. De éstas, 16 tienen más de 10 millones de habitantes.

En 1998, la población mundial alcanzaba la cifra de 5,900 millones de humanos y se espera que en el año 2050 la población sea de 8,900 millones. Así mismo, en 1996, 46 por ciento de la población mundial vivía en zonas urbanas y se estima que en el año 2030 esta cifra ascenderá a 61 por ciento.

México no está exento de esto; en 1950, 42 por ciento de la población¹ era urbana, mientras que en 1996 esta

Resumen

Luego de exponer las causas de los principales deterioros que puede sufrir el concreto premezclado y señalar la manera de evitarlas al diseñar el material, el autor hace hincapié en la necesidad de que las empresas productoras investiguen la manera de resolver los problemas intrínsecos del concreto y da a conocer algunos desarrollos realizados en el Cidetec, el centro de investigación de Cemex.

de la población era urbana, mientras que en 1990 este valor ascendió a 64 por ciento y se espera que en 2010 la población urbana representará 82 por ciento del total.

Actualmente, 25 por ciento de la población de México está concentrada en 2 por ciento del territorio nacional, representado por las zonas conurbadas de Monterrey, Guadalajara y el Distrito Federal.

Como se puede ver en las cifras anteriores, los problemas en la calidad del servicio serán cada vez más y más importantes en la industria del concreto premezclado. Para poder seguir siendo competitivas, las compañías productoras de concreto tienen y tendrán que recurrir al uso de sistemas que les permitan mantener un nivel efectivo en el suministro de sus productos.

Actualmente, el grupo Cementos Mexicanos ha organizado su flotilla de camiones revolvedor bajo el control de una central; de forma tal que cada unidad moto-revolvedora está equipada con una computadora enlazada vía satélite con los sistemas de comunicación, permitiendo a los conductores informar constantemente su ubicación y estatus.

Estas unidades revolvedoras están conectadas con el centro de operaciones, diseñado para hacerse cargo inmediatamente de los pedidos de concreto. Este sistema, operado por despachadores centrales, elige la combinación óptima de camiones revolvedores y plantas dosificadoras para atender cada pedido, con base en un constante flujo de información en tiempo real acerca de las condiciones de tránsito, unidades y plantas disponibles, localización de la obra, especificaciones del pedido y el historial del suministro del pedido.

Adicionalmente al logro de la lealtad de los clientes, con el apoyo de los empleados, el nuevo sistema ha elevado la eficiencia al punto de incrementar la productividad del equipo móvil en 30 por ciento.

Otro de los aspectos que sin duda están cobrando un papel muy importante en la industria del concreto

premezclado, al igual que en otras áreas del quehacer humano, es el tema ecológico. Cada vez son más estrictos los controles que se requieren implementar con objeto de prevenir daños al medio ambiente.

Dentro del grupo Cementos Mexicanos se difunden los temas ecológicos en las publicaciones internas. Con el fin de remarcar la importancia de cuidar el medio ambiente y crear una cultura ecológica, en las plantas dosificadoras se han implementado diversos sistemas que permiten controlar los aspectos que pueden significar daño para los empleados, la comunidad y el medio ambiente.

Estos sistemas incluyen fosas de lavado y decantación en donde se trata de evitar que toda el agua sobrante del proceso de elaboración del concreto contamine el medio ambiente; captadores de polvo, los cuales impiden que las partículas que se generan en el proceso rebasen los límites de la planta, e inclusive dentro de las propias instalaciones se evita tener partículas suspendidas. Así mismo, para lograr que el ruido no sea perjudicial, las instalaciones se crean con las dimensiones necesarias y se establecen sistemas para impedir su propagación al exterior.

Paradigmas

Por décadas el parámetro para la evaluación del concreto en estado endurecido ha sido la resistencia a la compresión; sin embargo, los resultados de esto han sido que actualmente se estime en 13 mil millones de pesos el monto necesario cada año para la reparación de estructuras de concreto en México.² Es importante mencionar que, en la gran mayoría de estas estructuras dañadas, los concretos empleados cumplieron con las especificaciones en cuanto a la resistencia a la compresión. Esto nos ha mostrado que la resistencia a la compresión no es el único requisito que se le debe pedir al concreto; por cierto, es sólo el requisito mínimo. Junto con su cumplimiento se debe dar también la uniformidad del concreto, ya que éste puede estar cumpliendo con la resistencia a la compresión especificada pero con una gran variabilidad. lo cual no es deseable por los problemas

constructivos y de comportamiento estructural que nos puede provocar el tener en una misma estructura concretos con diferentes resistencias a la compresión, con la única característica de tener una resistencia mínima especificada.

Más allá del f'_c

Durante muchos años, y aún en la actualidad, se ha considerado que el concreto es un material que mantiene sus propiedades durante toda su vida útil. Así mismo, se consideraba que los agregados eran inertes, es decir, que no reaccionaban química y físicamente ante ningún compuesto o materia. Sin embargo, la experiencia ha mostrado que esto no es así.

Típicamente, el único requerimiento que se exige a los agregados es que su granulometría esté dentro de las curvas especificadas en las normas de calidad. Por ello, en ocasiones es posible llegar a tener agregados que, a pesar de cumplir con este requisito, presenten picos en su granulometría, lo cual puede contribuir a tener concretos con características físicas que, en estado fresco, contribuyan a la segregación y el sangrado, y en estado endurecido, a la alta permeabilidad.

Sanidad

Otro factor importante es el grado de alteración de las características físicas y químicas del agregado debido a procesos de erosión e intemperismo. Estas alteraciones provocan un daño en la dureza, densidad, porosidad y composición mineralógica de los agregados, entre otras características, lo cual repercute en la calidad final del concreto.

Por tal motivo, se debe llevar a cabo un estricto control de calidad sobre la sanidad de los agregados. Dicha sanidad tiene que ser evaluada mediante pruebas, tales como las indicadas en las referencias

NOM C-75, ASTM C-331, ASTM C-142, ASTM C-535, ASTM C-131 y ASTM C-295, entre otras.

Esto es necesario porque, en ocasiones, se puede tener un agregado que esté libre de materiales contaminantes, con una adecuada granulometría, pero cuyo uso no sea recomendable para la fabricación de concreto ya que tarde o temprano provocaría algún daño en la estructura de concreto, por ejemplo, *pop-out*, reacciones químicas entre la pasta y el agregado, etcétera.

Reacción álcali-sílice

La combinación del cemento con el agua en el seno del concreto genera un medio altamente alcalino donde las partículas de agregado se encuentran inmersas. En estas condiciones, algunos agregados reaccionan químicamente con el medio de contacto, dando lugar a la formación de un gel que, al absorber agua, se expande y crea presiones capaces de desintegrar el concreto. Estas reacciones químicas, denominadas genéricamente álcali-agregado, han sido causa del deterioro prematuro de importantes estructuras de concreto en diversas partes del mundo.³

La reacción álcali-sílice, que es un tipo de reacción álcali-agregado, inicia cuando los hidróxidos alcalinos (NaOH, KOH) presentes en el fluido de poro del concreto atacan la superficie de los minerales silicios en el agregado, formando un gel y ocasionando una alteración de la superficie del agregado, conocida como borde de reacción. El gel resultante tiene una gran afinidad con el agua y, consecuentemente, una tendencia a incrementar su volumen. El gel expandido ejerce una presión interna que es suficiente para fracturar el concreto.⁴ A estos factores se suma un tercero, representado por la humedad, que más bien funge como un agente catalizador de la reacción. También hay que tomar en cuenta las proporciones en que se hallan los elementos participantes.

El mayor riesgo de que se produzca una reacción deletérea ocurre cuando se reúnen tres condiciones en el concreto.³

1. El uso de un cemento portland de alto contenido de

1. El uso de un cemento portland de alto contenido de álcalis (más de 0,60 por ciento expresado como Na_2O); particularmente si el contenido de álcalis en el concreto excede los 3 kg/m^3 .

2. El empleo de agregados que contengan rocas y minerales reactivos con los álcalis en las proporciones que resulten críticas para cada tipo de roca o mineral.

3. La exposición de la estructura de concreto en servicio a un medio de contacto húmedo; principalmente cuando se producen alteraciones de humedecimiento y secado, o disipación de humedad a través del concreto.

Debido a que en ocasiones es imposible sustituir el agregado reactivo porque con frecuencia no resulta económico, es necesario someter a prueba los agregados seleccionados para producir concreto. Se recomiendan los análisis y estudios siguientes para identificar y verificar el carácter reactivo de los agregados con los álcalis:

2 Análisis petrográfico.

3. Determinación de la reactividad álcali-agregado mediante el Método Químico ASTM C 289.

4. Determinación de la reactividad álcali-agregado mediante el Método de Barras de Mortero ASTM C 227.

5. Procedimiento de Prueba acelerados como el Método ASTM C 1260.

Una vez conocido el carácter reactivo de los agregados, es importante tomar medidas preventivas contra este tipo de reacción en el concreto.⁴

- Si existe la posibilidad, utilizar agregados no reactivos.
- Emplear cemento de bajo contenido de álcalis.
- Limitar el contenido de álcalis en la mezcla de concreto.
- Utilizar materiales cementantes suplementarios.

Fatiga

La fatiga se refiere al caso de elementos estructurales, por ejemplo losas de puentes, pavimentos, de concreto hidráulico y durmientes de ferrocarril de concreto presforzado, que constantemente trabajan sometidos a la acción de cargas repetidas que les producen variaciones cíclicas en los niveles de esfuerzos. En esta condición, se provoca paulatinamente en el concreto un estado según el cual, después de cada ciclo de carga y descarga, se acumula una deformación adicional permanente, de modo que al cabo de cierto número de ciclos, que depende del intervalo de fluctuación de los esfuerzos aplicados, se llega al estado de deformación crítico en que sobreviene la falla del concreto. A este tipo de falla, que depende del tiempo requerido para acumular el número necesario de ciclos, de acuerdo con la fluencia de éstos, se le llama falla por fatiga.

Flujo plástico

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

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

- Relativos al concreto: relación agregado-cemento, relación agua-cemento, tipo de agregado y su graduación, composición y finura del cemento, contenido de humedad y edad al momento de la carga.
- Relativos a la estructura: intensidad y duración de la carga, humedad ambiental y tamaño del elemento estructural

estructura.

- Relativos al agregado: menor flujo plástico a mayor tamaño máximo de agregado: Los concretos que emplean agregados de origen andesítico, por ejemplo en la ciudad de México, presentan mayores valores de flujo plástico que aquellos que usan agregados de origen calizo.
- Relativos a la resistencia a la compresión del concreto: cuanto mayor sea la resistencia a la compresión, menor será el valor de flujo plástico del concreto, considerando la misma intensidad de carga y condiciones geométricas de la estructura y del ambiente.

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

Sulfatos

Los sulfatos (SO_4) son componentes químicos presentes en suelos y agua, los cuales atacan al concreto. El agua de mar contiene cantidades altas de sulfatos, generalmente en el orden de tres mil partes por millón (3 mg/l). El contenido de sulfatos en suelos varía ampliamente, pudiéndose encontrar contenidos en el orden de 0.1 a 2 por ciento en peso o mayores.⁵

El mecanismo de ataque se inicia con la difusión de los sulfatos a través de los poros del concreto; dicha difusión depende principalmente de la permeabilidad del material. Una vez dentro del concreto, los sulfatos pueden reaccionar con el hidróxido de calcio formado durante la hidratación de los componentes del cemento, produciéndose sulfato de calcio, que es un compuesto expansivo. Adicionalmente, el sulfato de calcio reacciona también con el monosulfoaluminato, el cual se produce durante la hidratación del cemento, y el producto final será la formación de ettringita, que es así mismo un compuesto altamente expansivo.

El ataque de sulfatos (sulfato de sodio y

magnesio) al concreto resulta en pérdida de resistencia y agrietamiento de las estructuras, reduciendo su periodo de vida útil e incrementándose los costos de mantenimiento y, finalmente, poniendo en riesgo la integridad de la estructura de concreto. A continuación, se muestra una tabla con los diferentes grados de ataque de los sulfatos.

Tabla 1. Grados de ataque de los sulfatos al concreto⁶

Grado de ataque	% en peso de SO ₄ en suelos	Ppm de SO ₄ en muestras de agua
Despreciable	0.00-0.10	0.0-150
Moderado	0.10-0.20	150-1,500
Severo	0.20-2.0	1,500-10,000
Muy severo	2.0 o más	Mayor a 10,000

En las estructuras que se determine que van a estar sometidas a ataque por sulfatos, el concreto se debe diseñar de acuerdo con el grado del ataque. Los puntos clave por considerar son los siguientes:

- Permeabilidad: podemos considerar que un concreto tiene una baja permeabilidad⁷ cuando k (coeficiente de permeabilidad) es menor a 1×10^{-11} m/seg; una mediana permeabilidad cuando $k = 5 \times 10^{-11}$ m/seg, y una alta permeabilidad cuando $k = 1 \times 10^{-10}$ m/seg.

- Relación agua/cemento: de acuerdo con las condiciones del ataque, pueden requerirse relaciones agua/cemento de hasta 0.35.

· Tipo de cemento: típicamente se ha recomendado el uso de cementos tipo II y V; sin embargo, se ha encontrado que ésta no es la única opción,^{8,9} pues hay exitosas experiencias del uso de cementos puzolánicos e incluso del tipo I, en conjunto con las otras medidas aquí mencionadas.

· Aditivos minerales: en ocasiones se puede requerir el uso de *fly ash*, microsílíce o escoria de alto horno, en proporciones diversas según se establezca el grado de ataque a que se verá sometida la estructura.

Carbonatación

Uno de los graves problemas que tienen las ciudades y áreas industriales en la actualidad es la generación de CO_2 , un gas que se produce debido a procesos de combustión y también en procesos naturales tales como las erupciones volcánicas. Este compuesto ataca las estructuras de concreto; el ataque se genera al reaccionar el CO_2 presente en el ambiente con el hidróxido de calcio producido en el concreto durante la hidratación del cemento, dando lugar a la formación de carbonato de calcio, el que provoca una disminución en la alcalinidad del concreto (pH). Esta disminución conduce a que la protección que brindaba el concreto al acero de refuerzo se pierda, de tal manera que el acero queda vulnerable al ataque de diferentes sustancias presentes en el concreto o en el ambiente.

En forma general, se puede considerar que el proceso de carbonatación ha iniciado cuando el pH del concreto tienen un valor inferior a 12.5.

A pesar de que la carbonatación se presenta y causa graves daños en las estructuras de concreto en todo el país, muchas veces no se considera en el proceso de diseño del concreto, lo que causa costos adicionales para la reparación de las estructuras.

En las estructuras que se determine que van a estar expuestas al contacto del CO_2 , se deberán diseñar los concretos considerando los siguientes

aspectos:


- Permeabilidad: para que se dé el proceso de carbonatación se requiere que el CO_2 ingrese a la masa del concreto, por lo que, dependiendo del grado de exposición, se debe diseñar un concreto con la permeabilidad requerida.
- Relación agua/cemento: de acuerdo con las condiciones del ataque pueden requerirse relaciones agua/cemento de hasta 0.35.
- Tipo de cemento: se pueden emplear cementos tipo I en conjunto con aditivos minerales, o bien un cemento puzolánico con el fin de hacer reaccionar el hidróxido de calcio disponible para crear fases cementantes más estables.

Corrosión

La corrosión del acero de refuerzo es un problema de magnitud considerable. La exposición a un medio con presencia de cloruros causa el deterioro acelerado de las estructuras de concreto, por ejemplo, las que se encuentran en ambientes marinos. Cuando no se toman las medidas de prevención acorde con el grado de exposición, los resultados no se hacen esperar, llegándose a un daño prematuro en 10 o 15 años. De acuerdo con información de la Federal Highway Administration de Estados Unidos, el costo de reparación y mantenimiento de puentes en el sistema interestatal fue en 1996 de 2.6 miles de millones de dólares.

Por otra parte, la misma fuente informa que 50 por ciento de los 575 mil puentes existentes presentan daños de consideración y 20 por ciento están estructuralmente dañados.

El mecanismo por el cual los cloruros inician la corrosión es el rompimiento de la capa de pasivación que se forma sobre el acero de refuerzo que tienen cuando están en un ambiente alcalino. El rompimiento de esta capa sucede cuando la concentración de cloruros alcanza alrededor de 0.8 kg por m^3 de concreto. En un estado de pasivación, el acero se corroe a una velocidad insignificante del orden de 0.1 micrómetro por año.



La prevención es la mejor medida para evitar el daño causado por cloruros. Existen dos áreas en las que podemos actuar cuando diseñamos el ciclo de vida de un concreto:


- La calidad del concreto, que implica aspectos de diseño, curado, permeabilidad, tipos de cemento y uso de materiales puzolánicos. Todo lo anterior se relaciona con el coeficiente de difusión y la estimación de las características de permeabilidad a los cloruros, de acuerdo con pruebas de campo o con resultados de la prueba rápida de permeabilidad a cloruros.

- El tratamiento químico al acero de refuerzo. Mediante la investigación de diversos compuestos químicos se puede lograr la mejor selección, de manera que, incorporados al concreto, le permitan una protección apreciable contra los cloruros. Algunos de estos compuestos químicos actúan sobre el acero de refuerzo formando una capa que eleva el nivel de protección y otros actúan internamente en el cuerpo del concreto, retardando el paso de los iones cloruros.

Investigación y desarrollo

De lo expuesto anteriormente, se desprende la necesidad que tienen las empresas productoras de concreto de crear centros de investigación que se enfoquen al desarrollo de productos y servicios orientados a resolver las problemáticas intrínsecas del concreto, pero que a la vez consideren los problemas logísticos y ecológicos del entorno.

Por ello, el Grupo Cementos Mexicanos ha creado el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Concreto (Cidetec), el cual se ha dado a la tarea de investigar los materiales constituyentes del concreto, el concreto mismo y todos los componentes presentes en las estructuras que alteren las características de las estructuras de concreto.



Los desarrollos realizados en el Cidetec han hecho posible ampliar el campo de aplicación del concreto en la construcción, de tal manera que actualmente producimos concretos que cumplen ampliamente desde la función dada a los suelos, hasta concretos que compiten ventajosamente en las estructuras de acero. Algunos de ellos son los siguientes:

El *relleno fluido*, que es un material con grandes ventajas en la construcción de obras de suelos y de terracerías, por su gran fluidez, bombeabilidad y muy pequeña contracción. Permite reducir las dimensiones de las zanjas, con el consecuente ahorro de tiempo y costo en las obras, así como el mejor control de las características del material de relleno.

El *concreto antibacteriano*, que inhibe el crecimiento de las bacterias en pisos y muros de concreto allí donde su proliferación puede ser un riesgo, como es el caso de los colegios, guarderías, centros de salud, estadios, baños públicos, etc. O bien en lugares donde es imprescindible la higiene, tales como granjas de crianza de animales, por ejemplo, en las industrias avícola, porcícola y ganadera. En el Bajío, desde el año pasado se utiliza ampliamente en pisos y silos de almacenamiento de granos.

El *concreto celular*, que por su ligereza, alta fluidez y bajos coeficientes térmico y acústico hace más eficientes los procesos constructivos y brinda mayor comodidad en las viviendas.

El *concreto durable*, que prevé los ataques al concreto en función de las condiciones de exposición y de servicio a las que estará expuesto, como pueden ser la temperatura, la humedad, la abrasión, los ataques químicos de ácidos, sulfatos, cloruros, la reacción álcali-agregado, la corrosión del acero de refuerzo, etc. Tenemos desarrollada y sistematizada la información para encontrar el producto adecuado a cualquier condición de servicio.

El *concreto de alta resistencia*, del cual se han definido sus parámetros estructurales, sus procedimientos de producción y prueba. Lo ofrecemos para estructuras de edificios de cualquier altura, no solamente por sus ventajas estructurales sino también por su durabilidad y trabajabilidad.

Referencias

1. United Nations publication (ST/ESA/SER.A/163), Sales núm. E.97.XIII.2.
2. De castro, Pedro (investigador del CINVESTAV), *Excelsior*, 1998.
3. *Manual de Tecnología del Concreto*, CFE, Instituto de Ingeniería, Editorial Limusa.
4. Langley, W.S., B. Fournier, V.M. Malhotra, Alkali-Aggregate Reactivity in Nova Scotia, CANMET, 1993.
5. Franco, Luis, "Concreto resistente a sulfatos", reporte interno; Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Concreto, CEMEX, mayo de 1999.
6. U.S. Bureau of Reclamation.
7. Franco, Luis, "Determinación del coeficiente de permeabilidad (k) al agua para concretos durables", reporte interno, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Concreto, CEMEX, mayo de 1998.
8. Rodríguez, Rosa Elba, "Using natural pozzolans to improve the sulfate resistance of cement mortar", Proceedings Sixth CANMET / ACI International Conference, Bangkok, Tailandia, 1998.
9. Dámazo, Daniel, "Prueba de resistencia al ataque de sulfato de sodio en el concreto", reporte interno, Dirección Técnica, CEMEX, 1990.

Este artículo reproduce la conferencia magistral que el autor impartió en el ciclo programado con motivo del 40° aniversario del IMCYC.



**Instituto Mexicano del Cemento y del
Concreto, A.C.
Revista Construcción y Tecnología
Noviembre 1999
Todos los derechos reservados**

[ARTICULO
ANTERIOR](#)



[ARTICULO
SIGUIENTE](#)



La múltiple identidad del concreto

José Luis Ramírez Ortiz

Aquí! 

◇ Resumen

Los variados materiales que se encuentran detrás de la palabra concreto son objeto de consideración en este artículo, cuyo propósito es mostrar la riqueza tecnológica que encierra el concepto mediante la explicación de los diferentes tipos no convencionales de concreto y la presentación de las propiedades de cada uno.

El concreto, hoy día uno de los dos materiales de construcción básicos, es la agrupación o concreción (de ahí su denominación anglosajona *concrete*) de partículas de piedra por medio de un aglomerante, constituyendo una especie de piedra artificial de elevada resistencia a la compresión, aunque baja a la tensión. En su preparación hay una fase plástica, que va desde el mezclado hasta el fraguado, teniendo por ello la propiedad de ser formáceo: de poderse colar en una cimbra de la forma deseada (en nuestro idioma, *hormigón*, se deriva de formicus-formáceo).<

Con esta definición podemos encontrar materiales de construcción utilizados por diversos pueblos bastantes siglos antes de nuestra era. Así,¹ los asirios y babilonios fueron, con toda probabilidad, los primeros en mezclar cal, arcilla y agua, y los fenicios mezclaban cal con ladrillo más de 700 años antes de nuestra era y de la aparición de la civilización romana, de lo que nos han llegado bastantes ejemplos.

Los romanos, sin embargo, marcaron un hito histórico en relación con el desarrollo de este material puesto que, de alguna manera, recogieron y documentaron su fabricación y método constructivo.² Utilizaron principalmente como componentes, además de la piedra triturada, la cal y la ceniza volcánica, que constituyeron una especie de primer tipo de cemento hidráulico. No solamente establecieron el

material, sino también una tipología y técnicas de construcción a través de múltiples tipos de obras: palacios, edificios, puentes y acueductos, puertos y carreteras.

A lo largo de los siglos hasta nuestra época, dicho cemento romano ha dado resistencia a buena parte de nuestras construcciones con materiales de la naturaleza descrita, en concurrencia poco diferenciada con las cales aéreas o hidráulicas. Pero la definición moderna de aquel aglomerante hidráulico que nos ha llegado a lo largo de tres mil años fue la patente del cemento portland en 1824 y, sobre todo, el descubrimiento del armado con acero del conglomerado, para proporcionar resistencia frente a los esfuerzos de tensión que aparecen en las construcciones.

Este descubrimiento del mortero o concreto armado a mediados del siglo pasado condujo, a finales del mismo, a diversas patentes:³ Monier, Blanc, Ribera, Hennebique, con las que se construyó gran número de obras, a caballo entre los dos siglos. Otro paso adelante lo constituyó el desarrollo del concreto pretensado, Freyssinet, hacia 1930.

Ha pasado bastante tiempo desde estos trascendentales descubrimientos, se han desarrollado enormemente sus planteamientos teóricos y, tanto el concreto armado como el pretensado, han alcanzado un alto grado de madurez. Sin embargo, en cierta manera, existe la percepción de que la sociedad no valora justamente el nivel de la técnica involucrada en esta tecnología de construcción, quizás por las apariencias comunes con la construcción más tradicional e, incluso en el mundo científico, da la sensación, a veces, de que se la considera una tecnología "menor" frente a los temas habituales "prioritarios", como son las tecnologías de la información, los "nuevos" materiales o el medio ambiente.

Estimamos que dichas opiniones no hacen justicia a las tecnologías del concreto y que, a lo largo del tiempo, estamos asistiendo a un esfuerzo en todo lo que respecta al desarrollo de concretos y armaduras especiales, juntamente con una abundante investigación teórica y experimental, apareciendo en el mercado materiales con propiedades especiales, todavía poco utilizados, pero con

futuro prometedor.

El presente artículo pretende hacer una exposición conjunta sobre los principales tipos de concretos especiales: ligeros, poliméricos, con fibras y de alta resistencia, haciendo una sucinta presentación de su naturaleza y propiedades, leyes de funcionamiento y aplicaciones.

Concreto ligero

El concreto normal presenta el inconveniente de su elevada densidad que penaliza los pesos propios de la estructura. Por ello, en distintas épocas se ha buscado hacerlo más ligero, con la utilización de agregados ligeros, naturales o artificiales.

Hay precedentes históricos como la cúpula del Panteón, en Roma, del siglo II a.c., de 44 m de diámetro, en donde se empleó piedra pómez como agregado de la mezcla.

Pasando a nuestra época, en 1917 ya se produjeron en Estados Unidos agregados ligeros en hornos rotatorios por expansión de arcillas y pizarras que, entre otras cosas, se emplearon en calzadas de puentes y cascos de buque, experimentando dicha tecnología un fuerte desarrollo en los años cincuenta, debido a la construcción de rascacielos.

El desarrollo en Europa de la fabricación de agregado ligero ha sido más lento aunque, en estos momentos, alcanza cotas de importancia.⁴

Aunque los agregados ligeros pueden ser naturales, los concretos ligeros se basan en agregados fabricados industrialmente, por expansión, en hornos de arcilla o pizarra, en general, con lo que se logran unas propiedades definidas y fiables.

La expansión crea un agregado que encierra cantidades variables de aire en su interior y que proporciona ligereza (densidades aparentes entre 300 y 800 kg/m³) y elevados valores de aislamiento térmico y acústico. La ligereza de

los agregados se traduce en la del concreto con ellos fabricado, que oscila entre 1,000 y 2,000 kg/m³ para el concreto ligero estructural, alcanzando, sin embargo, resistencias elevadas que permiten el pretensado e incluso su calificación de concreto de alta resistencia (> 50 MPa).

La fabricación de estos concretos precisa tener en cuenta, en lo que a dosificación respecta, los fenómenos de desecación por absorción de agua durante el mezclado, transporte y vertido, que afectarían la docilidad, aunque un exceso de agua perjudicaría el aislamiento térmico y podría permitir la flotación del agregado grueso, más ligero, debido a la vibración. El bombeo también es un tema para estudiar, debido a que la presión introduce agua de la mezcla en el agregado, secándola, con el peligro de que se forme una obstrucción en la tubería. Se necesita un curado más intenso que con el concreto normal, ya que el calentamiento de fraguado es mayor, debido a la menor masa presente y menor conductividad térmica.

En cuanto al cálculo, en estos momentos se dispone de un Documento del Eurocódigo 2, la parte 1-4, titulada "Reglas generales. Hormigón de árido ligero de textura cerrada", que admite densidades entre 1,000 y 2,000 kg/m³ y considera resistencias entre 12 y 50 Mpa.⁵

En general, se sigue la metodología de cálculo habitual del concreto, utilizando parámetros de características dadas especialmente para este material, con la posibilidad de utilizar un diagrama tensión-deformación bilineal.

Concretos poliméricos

La construcción en nuestros días viene exigiendo materiales que superen las propiedades habituales y las limitaciones existentes. En el dominio de los concretos que estamos tratando se persigue, desde hace tiempo, el lograr con rapidez resistencia altas y muy altas, sobre todo para prefabricados, a fin de disminuir tamaños, espesores y peso propio, siendo muy importante el disponer de una relación tensión/compresión más alta que en los concretos habituales.

Además de la resistencia, la durabilidad es otra propiedad cada vez más valorada, hoy que observamos cierta vejez prematura de abundantes estructuras de concreto, construidas, ciertamente, con una tecnología incipiente y con defectos de calidad en muchos casos, pero que no permite olvidar cierta debilidad del concreto frente a ambientes agresivos.


Teniendo en cuenta lo anterior, la utilización de polímeros en el concreto, que comenzó en los años 1950 en forma de adiciones para mejorar la adherencia y resistencia al desgaste de morteros o la fabricación de mármol artificial, ha dado paso, en los últimos 25 años, a un amplio reconocimiento de los concretos fabricados o modificados con polímeros como material de construcción. Dentro del campo de la tecnología de polímeros, en asociación con el concreto, se pueden distinguir tres tipos de materiales, de acuerdo con sus condiciones de fabricación.⁶

El concreto modificado con polímeros se logra adicionando la resina en el mezclado de cemento y agregados, con lo que la matriz ligante queda constituida por cemento y polímero. El concreto impregnado con polímeros se fabrica por introducción de un monómero o polímero en la red de poros del concreto –ya endurecido– y posterior polimerización *in situ*, lo que provoca un taponamiento de los canales de contacto del concreto convencional con el exterior. Por último, la denominación de concreto polimérico se refiere al material que resulta del mezclado de los agregados con resinas como único aglomerante.

Los polímeros empleados son variados, dependiendo del tipo de concreto, pero, en el caso de los citados últimamente (concretos poliméricos), las resinas más utilizadas son las epoxi, las de poliéster insaturado y las de metacrilato.

El hormigón polimérico es, en esencia, una mezcla constituida por dos fases: una continua, que es la resina, y otra dispersa, que es el agregado.

Las características del material dependerán, fundamentalmente, de estos dos constituyentes, pudiéndose controlar para posibilitar la fabricación de un



material "hecho a medida", de forma que tengan un amplio espectro de aplicación.

En sus propiedades más elevadas puede obtenerse:

- Muy alta resistencia a la compresión, 100/150 MPa.
- Muy alta resistencia a la tensión, 30/40 MPa.
- Muy alta relación de las resistencias a la tracción y a la compresión, 1:4, frente al 1:10 del concreto normal.
- Gran rapidez de endurecimiento (horas).
- Excelente durabilidad frente a agentes químicos agresivos.
- Curva carga-deformación del tipo usual en concretos.

Los principales problemas provienen de las propiedades viscoelásticas del polímero, lo que significa un módulo de elasticidad no demasiado alto, fluencia más acusada y susceptibilidad a la temperatura, que no podrá pasar de niveles del orden de los 100 °C.

Hay que cuidar el valor de la tensión para cargas mantenidas, pues, por efecto de la fluencia, se llega a la rotura a niveles tensionales a veces sustancialmente menores que la carga de rotura. Para muchos concretos poliméricos comunes puede ser peligroso el mantenimiento de 50 por ciento de la carga de rotura.

El manejo de estos concretos es el normal en cuanto a equipos de mezclado y compactación, pero debe estudiarse previamente el tiempo de polimerización que permita la colocación, sobre todo en grandes cantidades, que puede reducirse por efecto del calor desprendido, y prever posibles deformaciones residuales al endurecer, máxime cuando hay armaduras internas, que siempre es recomendable que se coloquen aunque el material presente una importante resistencia a la tensión. Otras precauciones deben dirigirse a la protección de los operarios y frente a incendio, debido a los volátiles que se producen, y a la limpieza de todos los útiles después del trabajo.

Además del moldeado normal, es posible producir elementos por inyección, de espesores de 20 mm y menores, no teniendo las piezas por qué estar en los moldes más de 30 minutos. La prefabricación es un sector de gran potencial para una posible expansión de este tipo de productos. A las ventajas genéricas de los morteros y concretos poliméricos se unen, para este tipo de productos, las posibilidades de adhesión, fijación con insertos metálicos, color, textura superficial, etc. Además, la ligereza de las piezas frente a las de concreto tradicional las puede hacer competitivas, compensando el mayor precio con menores costos de transporte y de colocación.

Un campo de utilización importante es el de la reparación de estructuras de concreto, gracias a las altas resistencias específicas, la posibilidad de pequeños espesores, la fuerte adhesión a los substratos y la impermeabilidad frente a agentes agresivos.<

Desde el punto de vista del cálculo,⁷ no hay todavía un código establecido, pero se obtienen buenos resultados con la metodología del concreto armado tradicional, adaptando el diagrama carga-deformación, de acuerdo con las propiedades específicas del material, a la forma parábola-rectángulo, rectángulo o triángulo-rectángulo, siendo esta última la que hemos tenido ocasión de comprobar.⁸

Concreto reforzado con fibras

Aunque se esté considerando un material moderno, las fibras se han utilizado históricamente para reforzar materiales frágiles: la paja, para los ladrillos de arcilla cocidos al sol; el pelo de caballo, para las molduras de yeso; el asbesto (hoy prohibido), para fabricados de cemento.

En 1950 aparecen estudios y patentes de aglomerados de cemento con fibras distribuidas al azar, y en los años sesenta diversos científicos publican artículos que despiertan el interés de la investigación académica e industrial sobre el tema. A partir de ese momento ha existido una actividad muy intensa de investigación sobre

estos materiales, a la vez que se ha construido con dichos productos.⁹

Los materiales de cemento hidráulico reforzados con fibras suponen una amplia familia de productos. El comportamiento de estos materiales depende de la composición de la matriz, mortero o concreto, y del material de la fibra, su geometría, su distribución, orientación y concentración. Por ello, hay que admitir diferentes leyes de comportamiento dentro de los mismos.

A continuación nos referiremos, fundamentalmente, a los concretos, dentro de la comparación que estamos haciendo.

Las fibras pueden ser de acero, vidrio, sintéticas (acrílicas, aramida, carbono, nylon, poliéster, polietileno, polipropileno) y naturales (coco, sisal, bagase). Si exceptuamos las fibras de acero, que pueden llegar a tener hasta medio milímetro de diámetro, las otras se mueven en diámetros de 10 a 100 micras. Sus resistencias oscilan entre 0,3 y 3,5 GPa, es decir, alcanzan valores hasta 10 veces el del acero corriente.

Un parámetro característico de las fibras es, precisamente, el que define su esbeltez o aspecto (longitud dividida por diámetro equivalente), que para longitudes de fibras entre 6 y 75 mm tiene valores entre 30 y 150. Otra magnitud que influye en el comportamiento es el espaciamiento, que es función del porcentaje de fibra y de su diámetro o volumen.¹⁰

El concreto reforzado con fibras tiene un mecanismo de comportamiento respecto al material en masa tal que la primera grieta se forma para cargas superiores, tanto más cuanto menor es el espaciamiento, estableciéndose, después de esa primera grieta, un periodo dúctil tras alcanzarse una resistencia máxima, que depende del volumen, del aspecto y de la adherencia de las fibras.

Para las cantidades de fibra usuales, aumenta poco la resistencia en lo que respecta a la primera grieta, pero mucho, sin embargo, en lo referente a la resistencia última.

La armadura a que equivalen las fibras es menor que con un armado tradicional unidireccional, pero en cambio ello mejora mucho la tenacidad de las piezas, por la dispersión de las orientaciones en todas las direcciones.

Con fibras de acero hasta 4,5 por ciento de volumen, por ejemplo, se obtienen hasta 2,5 veces mayores resistencias a la flexión. La resistencia a la compresión aumenta sólo ligeramente, pero la tenacidad, energía necesaria para la fractura completa del material, se incrementa hasta valores del orden de 40 veces el correspondiente al concreto sin fibras. También es muy interesante la resistencia al impacto, la menor fluencia del material bajo carga mantenida y la gran mejora de la resistencia a la fatiga.

La ejecución de estos materiales se hace normalmente por mezclado o por proyección. En el mezclado se presentan dificultades por la posible segregación y, sobre todo, por la formación de bolas y erizos, lo que puede paliarse utilizando agregado de tamaño máximo reducido, del orden de 10 mm. Eso lleva también a la utilización de agitadores para dispersar las fibras y alimentadores a continuación del paso por un tamiz. Se puede bombear con éxito, siempre que no se emplee un volumen muy alto de fibra y se utilicen tuberías mayores que las habituales. Hay que tener en cuenta que eso se hace, habitualmente, con el concreto lanzado por vía húmeda.

La mejora generalizada que la fibra dispersa proporciona en resistencia a la tensión y tenacidad hace que se emplee bastante en losas de aeropuertos y carreteras, en la reparación de piezas con problemas de cavitación, en depósitos, bancadas y cimentaciones de máquinas que producen choques y vibraciones, muelles y rompeolas, etcétera

Concreto de alta resistencia

El concepto de Concreto de Alta Resistencia (CAR) presenta cierto grado de arbitrariedad y ha variado con el tiempo. Así, en los años cincuenta, se llamaba alta resistencia a los 35 MPa, en los sesenta a los 40-50 MPa. Actualmente, la definición del CEB-FIP sirve de guía,

indicando que son CAR los concretos cuya resistencia a la compresión está comprendida entre el límite superior que al respecto establecen actualmente las normas nacionales (alrededor de 60 MPa) y los 130 MPa, valor máximo que, en la práctica, puede alcanzarse con agregados convencionales.


Otras definiciones del CAR se basan en aspectos distintos a la resistencia como el que utiliza humo de sílice o aquél en el que el mortero es tan resistente como el agregado. Últimamente se suele referir a este tipo de concretos con el apelativo de Concretos de Alto Desempeño (CAD) significando que las características de composición inherentes a los concretos de alta resistencia implican la existencia de otras propiedades adicionales muy importantes: facilidad de compactación, resistencia a agentes agresivos y mayor durabilidad, entre otras.

Los elementos fundamentales que concurren en un CAR son:^{11, 12}

-Elevado contenido de cemento 400-500 kg/m³, procurando que sea de bajo contenido de adiciones para mayor actividad puzolánica, regularidad en su composición y bajo calor de hidratación. Son factores limitadores de la dosificación la posible falta de dispersión del cemento en la mezcla y la máxima temperatura admisible en el fraguado.

Muy bajo contenido en agua, relación a/c de 0,25-0,4, con elevada trabajabilidad, que permita colocar el concreto en zonas de alta densidad de las armaduras, lo que se logra mediante la utilización de reductores de agua de alto rango (superfluidificantes), cuya compatibilidad con el cemento debe ser comprobada y que en dosificaciones excesivas pueden generar problemas de pegajosidad de la mezcla.

Acción cementante y reducción de huecos por adición de partículas sólidas como la microsílíce o las cenizas volantes. La microsílíce o humo de sílice, que se obtiene como subproducto de la fabricación del ferrosilicio, consiste en pequeñísimas esferas de SiO₂ de 0, 1-0.2 micras de diámetro, lo que afina, por una parte, el sistema



de poros y, por otra, se combina con la cal libre del fraguado del cemento, produciendo silicatos de calcio hidratados. Se emplea, en general, en proporciones de 5 a 10 por ciento del peso del cemento.

Las cenizas volantes se utilizan por su acción puzolánica, que es menos activa y más lenta que la de la microsilíce. Son porcentajes normales 15-25 por ciento del peso del cemento.

Agregados de calidad que permitan el desarrollo de elevada resistencia, siendo generalmente su tamaño máximo reducido 12-14 mm, puesto que dan lugar a menores concentraciones de tensiones en la zona de transición entre los agregados y la matriz del concreto.

Aun cuando los CAR son materiales de la misma familia de los concretos habituales, sus propiedades y magnitudes que deben introducirse en los cálculos no pueden obtenerse simplemente por extrapolación de los concretos normales, por lo que estamos asistiendo a una gran actividad de investigación sobre el tema.

Como es de esperar, la fabricación de los CAR tiene sus peculiaridades. Al ser la mezcla muy seca, existen problemas en su homogeneización, en especial que el superfluidificante se distribuya por igual en la pasta, siendo, entre otras cosas, el tiempo de mezclado 50 por ciento mayor que para los concretos normales, estimándose conveniente un mezclado más enérgico que el de un concreto convencional. El muy alto contenido de cemento y el bajo tamaño de agregado lo hacen especialmente apto para el bombeo.

Con los niveles de resistencia que se pretende, es fundamental la precisión en la dosificación de los componentes y el aseguramiento de la calidad de los mismos.

Desde el punto de vista de las propiedades y de las diferencias con los concretos habituales, la más significativa es el diagrama tensión-deformación, que resulta notablemente diferente del concreto convencional. Se caracteriza por: Una rama, prácticamente lineal hasta la

tensión máxima, debido a que la microfisuración de la interfase pasta-agregado se produce a 90 por ciento de la rotura. Dichas roturas son frágiles y explosivas.

La deformación para la tensión máxima es algo superior a la habitual, pero la deformación última es inferior, tanto menor cuanto mayor es la resistencia.

La curva de caída de resistencia a partir de la rotura presenta mayor pendiente.

Otras diferencias cualitativas son el menor coeficiente de Poisson (lo que hace que en los CAR sea menos eficaz el zunchado), el más pequeño coeficiente de reducción de resistencia por cargas permanentes, la menor relación resistencia a la tensión/compresión y el aumento de la durabilidad, debido, en general, a su alta compacidad.

Hoy día hay abundante normativa internacional que proporciona, bien sea como norma específica o como adición a la convencional, parámetros de cálculo para el dimensionamiento.

En cuanto a la utilización en edificios, es, sobre todo, en los de gran altura donde es más clara e inmediata, por la gran repercusión de los muy altos niveles de resistencia en las columnas en que predomina la compresión, facilitando, asimismo, unos menores plazos de descimbrado por el rápido desarrollo de resistencias a primeras edades. El bombeo facilita la ejecución y se logra una sustancial reducción de la sección transversal, con gran reducción de costos por menor volumen de concreto y costos derivados y aumento de la superficie disponible con el consiguiente margen en la venta.

En puentes, más que la pura resistencia es el alto desempeño el que motiva de forma creciente su utilización. Mayores claros, menores deformaciones y menores pérdidas de pretensado por fluencia reducida son ventajas que pueden lograrse, junto con una larga vida de servicio garantizada por la mayor durabilidad.

Otros concretos

Se pueden citar también, aunque incipientes, otras tentativas actuales en este campo:

Concretos de polvo reactivo

Son concretos de ultra-alta resistencia reforzados con fibras de acero.¹³ Su resistencia a la compresión se encuentra entre 200 y 800 MPa y la resistencia a la flexión puede alcanzar 140 MPa. Se pueden producir con muy altas dosificaciones de cemento portland (900-1,000 kg/m³), humo de sílice, arena, superfluidificante y fibras metálicas. En su colocación puede utilizarse calor y presión.

Concreto de azufre

Son concretos obtenidos por mezcla en caliente (análogamente a los aglomerados asfálticos) de azufre, agregados, rellenos minerales y adiciones poliméricas.¹⁴ Con excepción de la resistencia al fuego, pueden presentar propiedades de todo orden superiores a los concretos hidráulicos normales, pudiendo ser armados y siendo valorados, sobre todo, donde se necesite excepcional desempeño frente a los ataques químicos, por la rapidez de endurecimiento o la impermeabilidad.

Y, finalmente, nos podríamos referir a los variados conglomerados que se desarrollan para aprovechamiento de residuos y subproductos en esa tarea ecológica que, por inerte, se le asigna al cemento.^{15, 16, 17} Se hacen concretos que sustituyen parte del agregado por diferentes residuos tales como neumáticos o residuos plásticos, debidamente troceados, arenas y escorias de productos siderúrgicos, ladrillos o concretos reciclados, celulosa, madera o cenizas. Sobre todos estos materiales hay investigaciones en marcha y se obtienen propiedades que, en algún caso, son estructurales, pero en otros, se limitan a aumentar significativamente alguna propiedad específica, como son la ligereza, el aislamiento térmico o acústico, la resistencia al choque, la resistencia a la tensión, el amortiguamiento de vibraciones, la ductilidad o la fisurabilidad.

Conclusión

De todo lo anterior se constata la variedad de propiedades que abarcan los distintos tipos de concretos más utilizados. Aunque todavía queda bastante por investigar, en algunos de ellos existe una gran proporción de aptitudes –ya desarrolladas y disponibles– siendo, de hecho, los tipos especiales utilizados de forma creciente.

La idea del concreto como de un material único, de bajo contenido tecnológico y utilizado por mano de obra escasamente calificada, debe rechazarse. El técnico competente dispone para cada tipo de utilización distintos tipos de concreto y de calidades, sin olvidar las variedades de cemento y de aditivos disponibles.

Bibliografía

1. MARUSIN, S.L., "Ancient concrete structures", *Concrete International*, enero de 1996, pp. 56–58.
2. POLLIO MARCUS VITRUVIUS, "De architectura libri decem", alrededor del año 13 a.C. (traducido por John Weale, Londres, 1860).
3. ROSELL, J. y J. CÁRCAMO, " La fábrica CERES de Bilbao", Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Bizkaia, 1994.
4. WEIGLER H. y S. KARL, "Hormigones ligeros armados", Gustavo Gili, 1974.
5. Eurocódigo 2 - Proyectos de estructuras de hormigón Parte 1-4: Reglas Generales. Hormigón de Árido Liger de Textura Cerrada UNE-ENV 1992-1-4, abril de 1996.
6. CZARNECKI, L., "The status of polymer concrete", *Concrete International*, julio de 1985.
7. FOWLER, D. W., "Structural design of polymer concrete", Thirth Southern African Conference on Polymers in Concrete, Johannesburg, Sudáfrica, 15-17, julio de 1997.

8. SAN JOSÉ, J.T., J.L. RAMÍREZ, J.I. URRETA e I. RODRÍGUEZ-MARIBONA, "Structural polyester concrete. Some properties related to repair", *Structural Faults and Repair 97*, julio de 1997. Edinburgh Conference.

9. ZOLLO, R., "Fiber-reinforced concrete: an overview after 30 years of development", *Cement and Concrete Composites* 19, 1997 pp. 102-122.

10. State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete ACI Committee 544-1986.

11. GÁLLIGO, J. M y Ma.P ALAEJOS, "Hormigón de alta resistencia. Estado actual de conocimientos", CEDEX, 1990.

12. High Strength Concrete. State of the Art Report. FIP/CEB, agosto de 1990.

13. DUGAT, J., N. ROUX y G. BERNIER, "Mechanical properties of reactive powder concretes", *Materials and Structures*, mayo de 1996.


14. WROON, A.H., "Sulfur concrete goes global", *Concrete International*, enero de 1998.

15. AL-MANASEER A. A. y T.R. DALAL, "Concrete containing plastic aggregates", *Concrete International*, agosto de 1997.

16. FATTUHI, N.I. y L.A. CLARK, "Cement based materials containing shredded scrap truck tyre rubber", *Construction and Building Materials*, vol. 10, núm. 4, 1996.

17. TOUTANJI, N.A.: "The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates", *Cement and Concrete Composites* 18, 1996.

Este artículo fue publicado en *Informes de la Construcción*, vol. 49, núm. 454, y se reproduce con la autorización del Instituto Eduardo Torroja. Para facilidad de nuestros lectores, hemos adaptado la terminología a la



acostumbrada en México y por ello hemos sustituido algunas palabras del texto original por su equivalente respectivo.

(Pie de figura:) Diagramas tipo tensión-deformación para diferentes concretos.

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

Revista Construcción y Tecnología

Noviembre 1999

Todos los derechos reservados

[ARTICULO
ANTERIOR](#)



[ARTICULO
SIGUIENTE](#)



Arquitectura doméstica en el siglo XX

Desarrollo, reflexión y creatividad



Arquitecta Aldara Chaos Cadore

Aquí!


Una ruptura con el pasado

Los diseñadores progresistas de Europa y América empiezan a rechazar el ya estéril historicismo del siglo XIX, a favor de una consciente innovación.

Resumen

La arquitectura doméstica del siglo XX ha producido una variedad de respuestas arquitectónicas, movimientos y tendencias expresados en modelos que luego sirvieron para diseñar los hogares contemporáneos. La mayoría de las casas en este siglo han sido las mejores formas de recortarle al paisaje un espacio, habitaciones propias, lugares en el mundo que, a veces, han soñado con cancelar su movilidad en el tiempo.

El movimiento cultural de principios de siglo tiene muchos nombres: Nieuwe Kunst, Stile Liberty, Jugendstil, Art Nouveau, Modernismo. Dentro de las regiones afectadas hubo puntos de vista encontrados y pareceres diferentes;




pero lo que tenían en común era la conciencia de lo moderno, cualquiera que fuese el nombre. Con esta pretensión, la arquitectura abandonó definitivamente el terreno inseguro de las ideas y valores transmitidos entregándose, con mayor o menor intensidad, a tendencias de moda y de actualidad que, al igual que el modernismo, fueron de corta vida.

Las nuevas ideas surgen en todos los aspectos de las artes, desde la arquitectura hasta la joyería, la pintura, la música, el baile y desde la simplicidad geométrica hasta la riqueza curvilínea, donde la arquitectura es un elemento imprevisible que modifica y altera, como la luz y la sombra, al igual que el paso de generaciones de hombres.

El modernismo buscó inspiración en multitud de tradiciones locales, alcanzando la suficiente popularidad para influir en todas las artes, produciendo cientos de nuevos edificios, algunos de gran importancia arquitectónica.

Antonio Gaudí (1852-1926), arquitecto catalán, desarrolló un estilo personal. Recubrió sus elementales formas arquitectónicas como si fueran gigantescos crustáceos de hormigón, con una decoración imaginativa y poco convencional a base de vidrios y cerámica e incrustaciones metálicas. En donde mejor se puede observar su estilo es en unas lujosas casas de departamentos en Barcelona, la Casa Milá "La Pedrera" (1910), que consta de dos patios interiores que




proporcionan iluminación a las viviendas. La estructura del edificio está formada por una base de pilares de piedra, hierro colado y ladrillo; no existen más muros de carga que la fachada y los cerramientos de los patios, por lo que el empleo de la planta libre de tabiques anticipa, de una manera *sui generis*, los postulados del movimiento moderno.

<Los arquitectos de la nueva actitud: experimentos con el espacio

Walter Gropius fundó la Bauhaus en 1919 en Weimar, Alemania. Es en todo el mundo un concepto, incluso un tema. En sus escasos 14 años de existencia se convirtió en abreviatura de la modernización de la vida, con sus aspectos positivos y negativos.

La Bauhaus pretende estar al servicio del desarrollo de la vivienda, desde el sencillo utensilio doméstico hasta la casa terminada.

Ligado con la Bauhaus, el grupo de artistas De Stijl, fundado en 1917, pretendía lograr un estilo válido para “la conciencia del tiempo presente”, que sustituyera lo individual por lo universal. La Casa Schröder construida por Gerrit Rietveld y recientemente restaurada es el manifiesto arquitectónico del neoplasticismo. Esta vivienda ocupa la última parcela de una larga calle; es un cuadrado cuyas superficies aparecen fragmentadas por placas horizontales y cristales, paneles de antepecho, soportes verticales y



antidecorativa en su color, al margen de los colores primarios que remiten a la pintura de Mondrian. Es indiscutiblemente la casa más moderna de Europa en su tiempo y pone de manifiesto los principios de la teoría del arte y la arquitectura de De Stijl.

Le Corbusier definía la casa como “la máquina para vivir, baños, sol, agua caliente y fría, temperatura regulable a voluntad, conservación de los alimentos, higiene, belleza a través de proporciones convenientes”. El arquitecto de origen suizo demostró cómo se podía llevar a la práctica su apasionada defensa de una nueva arquitectura acorde con el tiempo. La Villa Savoye en Poissy, Francia (1929-1931), compuesta por un volumen en forma de prisma sobre una planta cuadrada y elevada sobre pilotes, es uno de los edificios más decisivos que incluye las tesis de su manifiesto cinco puntos para una nueva arquitectura: el uso de pilotes para elevar la construcción del suelo, la planta libre, el uso de ventanas horizontales y finalmente el jardín en la azotea. Treinta y cinco años después de su construcción, no sólo es un manifiesto vivo de la arquitectura moderna y funcionalista sino también uno de los contados monumentos nacionales que representa al movimiento moderno en el amplio patrimonio cultural francés.

La Bauhaus, el (Congreso Internacional de Arquitectura Moderna (CIAM), Mies van der Rohe y sobre todo Le Corbusier, quien había cristalizado todas las ideas vigentes


sobre el diseño de viviendas, ejercieron gran influencia en diseños hasta los años setenta.

Por otro lado, Frank Lloyd Wright, gran arquitecto estadounidense, tras sus primeros logros a comienzos del siglo, venerado entonces pero sólo como figura histórica, sorprendió al crear una de sus obras más dinámicas y originales, la Casa de la Cascada, en Pennsylvania. Es una construcción digna de mención por el alcance de sus novedades espaciales y por su seguridad sin precedentes en el uso del concreto; ejemplo de integración de casa y paisaje, de espacio interior y exterior.

“Hay tantas casas diferentes como personas”, Frank Lloyd Wright

Por su parte, Mies van de Rohe redefinió el espacio interior doméstico en la casa Farnsworth, la cual marcó un hito en la arquitectura de la época al desarrollar una estética a base de acero y dio especial importancia a los elementos de unión y remate; es una vivienda transparente, el interior de la caja de vidrio a su vez encierra otra caja de madera donde se encuentran todos los servicios de la vivienda.

Mientras tanto, en México, uno de los países más avanzados en arquitectura de América Latina, rompió con la tradición pseudohistórica en la década de los veinte bajo el liderazgo de José Villagrán García. Años después, Luis Barragán introdujo el lenguaje




moderno pregonado por arquitectos europeos como Le Corbusier para definir su propio estilo: la construcción de un lenguaje arquitectónico abstracto sobre la base de la tradición mexicana. Un ejemplo de este innovador tipo de lenguaje empleado por Barragán es su propia casa ubicada en Tacubaya, en la cual la vegetación, al agua, los volúmenes geométricos más sencillos y los colores cálidos combinaban brillantes composiciones arquitectónicas, singulares espacios a medio camino entre la escultura, el land art y la arquitectura.

La arquitectura que se ha producido durante los últimos cien años parece el camino que va de la preparación a la simplificación de las formas, a la limpieza ornamental y a la utilización de materiales de procedencia industrial; en el hacer y deshacer de ese camino están sembradas algunas de las casas que definen arquitectónicamente el espacio doméstico.

Hacia el siglo XXI: “Lo único permanente es el cambio”, William Fleming


Con la cercanía del nuevo milenio así como con el cambio de siglo, la arquitectura doméstica se ha seguido desarrollando al tratar de cumplir todas las necesidades del hombre moderno. Ante la preocupación por la actual concepción del hogar contemporáneo, en estos últimos años Tadao Ando, arquitecto japonés, justifica sus formas extremadamente ascéticas con la



alineación del hombre frente a la naturaleza. Sus casas, frecuentemente cerradas al exterior, se abren a austeros patios internos, oasis de calma. En su opinión, el sol, el frío, el aire y la lluvia, son el ingrediente auténtico. Un ejemplo es la casa Koshino en Ashiya, Japón.

Sin embargo, otro de los tantos ejemplos que se pueden mencionar es la casa Duarte (1985), de Álvaro Siza, la cual representa la materialización de las ideas del arquitecto sobre la arquitectura doméstica, la continuidad espacial del interior, la fluidez descompuesta de las circulaciones y el uso ornamental de los materiales. La casa Duarte es un volumen sobrio y compacto que consta de tres plantas que superponen los diferentes niveles de habitabilidad. La combinación de materiales y la iluminación cenital son elementos configuradores de la comunicación vertical de la vivienda; varios de los muebles fueron diseñados por el arquitecto a modo de acabado de la estructura arquitectónica.

De entre los intentos por reelaborar algunos postulados del movimiento moderno tratando de dar nuevas respuestas y procurando configurar un nuevo lenguaje arquitectónico para las urbes del próximo milenio, Rem Koolhaas se cuenta entre los más vanguardistas. La villa dall'Ava (1991) se compone de tres partes: el jardín de pendiente, el volumen construido y el acceso al garaje. La planta del edificio también se divide en tres sectores: un cuerpo principal



acristalado que contiene las zonas de estar, comedor y cocina y otros dos cuerpos sobresalientes que contienen las estancias de padres e hija. Estos volúmenes de dormitorios, perpendiculares al espacio central, sobresalen en direcciones opuestas para proporcionar a sus inquilinos vistas de la ciudad de París.

Finalmente, padecemos una irresistible atracción por ser modernos. Nos satisface, al menos, sentirnos así comprendiendo el tiempo y el lugar geográfico. No se concibe modernidad sin tiempo determinado ni lugar igualmente determinado. El siglo XX ha sido el tiempo de la vivienda, el momento en que la arquitectura se ha acercado a las preocupaciones físicas del individuo, y este siglo se ha convertido también en el momento en que mayor distancia se ha establecido entre profesionales y usuarios.

La armonía del hombre y su entorno es uno de los grandes móviles del quehacer arquitectónico. Nuestra piel protege al organismo de la invasión de gérmenes nocivos y de los cambios de temperatura. La casa, por su parte, es la barrera protectora entre el hombre y el peligro: es la guarida, el espacio mágico donde el temor se deja fuera. La casa debe ser nuestra segunda piel, el refugio cálido que nos acoja día tras día.

“Cuanto más enérgicamente se busca el principio de la modernidad, más alejado parece estar.” Kenneth Frampton.

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

**Revista Construcción y
Tecnología**

Noviembre 1999

**Todos los derechos
reservados**

[ARTICULO
ANTERIOR](#)



[ARTICULO
SIGUIENTE](#)



Construcción
y Tecnología



Nuevos productos y equipos

Aquí ! 

Junta para diseño sísmico

El grupo C/S Inc. ha desarrollado una junta para diseño sísmico destinada a aplicarse en edificaciones que se realicen en zonas sísmicas. La misma cubre los espacios entre edificios y permite el movimiento horizontal y lateral ya que puede expandirse y contraerse hasta 75 cm en cada dirección.

Compuesto de curado y sellado acrílico

El compuesto de curado y sellado acrílico SEALTIGHT CS-309, formulado a base de polímeros acrílicos especiales y disolventes de evaporación rápida; cura y sella eficazmente el concreto recién colado. También proporciona un sellado impermeable para la eficaz retención de la humedad, produciendo un concreto duro, denso, sumamente resistente. El uso de CS-309 minimiza la formación de redes de grietas capilares, las grietas prematuras, el levantamiento de polvo, la descamación y otros defectos comunes resultantes del concreto mal curado.

Plástico líquido impermeable sin fisuras

Impermeabilizar techos planos industriales con resultados duraderos ahorrando tiempo y costos es todo un reto. Las geometrías complicadas con numerosas bocas de salida, como son los tubos de aireación o los soportes para conductos industriales, son difíciles de cubrir utilizando placas convencionales para techos pues a menudo la

impermeabilización falla en estos puntos de ensamble de elementos. Sin embargo, un plástico líquido poliuretánico utilizado recientemente por Bayer S.p.A. en el techado plano de una nave farmacéutica permitió impermeabilizar perfectamente incluso los detalles más complicados de un techado. El producto se aplica en estado líquido y tras su endurecimiento forma una “piel” sin uniones y de elasticidad duradera.

Nueva versión de semirremolques

La empresa Nicolas Industrie ha presentado Nicolong, un semirremolque de tres a ocho ejes, plataforma de movimiento telescópico simple o doble, diseñado con suspensión neumática o hidráulica, con gran movimiento del eje.

La carga útil puede ir de 40 a 80 toneladas y las longitudes de la plataforma pueden variar desde 8.5 a 11 metros en posición cerrada y de 15 a 30 m en posición abierta. Los modelos de 7 y 8 ejes están realizados esencialmente con plataforma no telescópica o en versión telescópica simple.

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

Revista Construcción y Tecnología

Noviembre 1999

Todos los derechos reservados

[ARTICULO
ANTERIOR](#)



[ARTICULO
SIGUIENTE](#)



Construcción
y Tecnología

Actualidad profesional



5º Congreso Brasileiro de Cimento
Del 8 al 12 de noviembre en Sao Paulo, Brasil
Informes: Associação Brasileira de Cimento Portland
Tel: (55-11) 3760-5300 / 5363
Fax: (55-11) 3760-5388 /5400
E-mail: congresso@abcp.org.br

IV Coloquios de Directores y Técnicos de Fábricas de
Cemento
Del 16 al 18 de noviembre en Barcelona, España
Informes: INTER-CONGRÉS
Tel.: 93 213 44 47
Fax: 93 210 66 98
E-mail: inter.congres@bcn.servicom.es

Primer Seminario de la OCDE sobre Información y
Documentación de Transporte para Latinoamérica y Tercer
Encuentro Anual de Centros DIIC
Del 16 al 19 de noviembre en Acapulco, México
Informes: Dr. Guillermo Torres Vargas
Tel.: (52) 56 88 97 47 y (52) 56 88 76 03
Fax: (52) 56 88 76 08
E-mail: guillermo.torres@imt.mx

5ª Conferencia Internacional sobre Tecnología del Concreto
para Países en Desarrollo
Del 17 al 19 de noviembre en Nueva Delhi
Informes: NCB Delhi

Tel.: (011) 6259133, 6253356 y 6251371
Fax: (011) 6258868

Simposio Internacional sobre Concreto de Alto
Comportamiento PCI / FHWA / FIB
Del 25 al 27 de septiembre de 2000 en Orlando, Florida, EUA
El simposio está dirigido a la investigación, diseño,
construcción, comportamiento y beneficios del concreto de
alto comportamiento. Se invita a exponer innovaciones,
tendencias recientes, investigaciones y nuevos desarrollo.
Recepción de ponencias hasta el 31 de octubre de 1999.
Informes: Precast /Prestressed Concrete Institute
Tel.: 312 786 0300
Fax: 312 786 0353
E-mail: info@pci.org
www.pci.org

Exposición Internacional de Constructores
Del 14 al 17 de enero de 2000 en Dallas, Texas, EUA
Más de 200 programas, talleres de trabajo y seminarios
educativos enfocados a las tendencias actuales de la
industria de la construcción.
Informes:
Tel.: +1-214-571-1301
Fax: +1-214-571-1300
Internet: www.dallascvb.com
E-mail: info@dallascvb.com

Bautec 2000 / Feria monográfica Internacional de la
Construcción
Del 16 al 20 de febrero de 2000 en Berlín, Alemania
Informes:
Tel.: +49-30-25 00-25
Fax: +49-30-25 00 24 24

CONEXPO 2000
Del 23 al 27 de febrero de 2000 en Culiacán Sinaloa, México
Informes:
Tel.: 01(67) 12 71 55, 12 78 06, 13 85 98 y 13 52 12
E-mail: cmicsin@docs.ccs.net.mx

Conferencia sobre Ingeniería de Puentes / Logros obtenidos /
Prácticas actuales / Futuras tecnologías

Del 26 al 30 de marzo de 2000

Informes: Dr. Ahmad Moharram Jr. – Conference 2000

Tel.: +20 2 3377120

Fax: +20 2 3352795

E-mail: amjr@intouch.com

CODATU IX / Congreso Mundial de Transporte Urbano

Del 11 al 14 de abril de 2000 en la ciudad de México, México

Informes: CODATU IX – Scientific Committee

Fax: 33-1 44 18 78 04

E-mail: christian.jamet@stp-paris.fr

1er. Congreso latinoamericano de Ingeniería y Administración
en la Construcción / Administración y tecnología en el nuevo
milenio

Del 24 al 27 de abril de 2000 en Santiago, Chile

Informes:

Tel.: (562) 686-4245

Fax: (562) 686-4806

<http://www.ing.puc.cl/~iccon>

IV Conferencia Científico-Técnica de la Construcción

Del 25 al 28 de abril de 2000 en La Habana, Cuba

Informes:

Tel.: (53-7) 81 4734 y 81 4978

Fax: (53-7) 33 5585 y 33 5244

E-mail: ctecnico@ceniai.inf.cu y copredir@ip.etecsa.cu

6ta. Conferencia Internacional sobre Mecánicas de Daño y
Fractura 2000

Del 22 al 24 de mayo de 2000 en Montreal, Canadá

Informes:

Tel: +44 (0) 23 80 293223

Fax: +44 (0) 23 80 292853

E-mail: wit@wessex.ac.uk

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

**Revista Construcción y Tecnología
Noviembre 1999**

Todos los derechos reservados

[ARTICULO
ANTERIOR](#)



[ARTICULO
SIGUIENTE](#)



De libros, revistas, memorias

Trabes pretensadas para la línea b del metro metropolitano de la ciudad de México



Fernando Ramiro Lalana

Ingeniería y Desarrollo

Fundación ICA, núm. 2, 1997, 11 pp.

Se hace una breve descripción del sistema que se ideó, se realizó y se puso en marcha para la fabricación y el montaje de las trabes presforzadas (pretensadas) que forman la superestructura del tramo elevado de la línea B. Se puntualizan las características principales del mismo y se presentan las actividades principales que integran el ciclo de trabajo.

Estados límites plásticos de edificios sometidos a torsión por sismo, e índices de confiabilidad asociados

G.M. Arroyo Contreras y C.G: Villarreal Esquivel

Memorias de XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Veracruz, México, 1997, 11 pp.

Se propone una metodología simplificada para los análisis elastoplásticos de edificios sometidos a torsión por sismo, y se la ilustra con un ejemplo. La metodología se aplica a sistemas estructurales tridimensionales, estructurados con marcos planos, con comportamiento elastoplástico y sujetos a fuerzas sísmicas estáticas, monotónicas crecientes.

Espectros inelásticos de demandas de ductilidad para la evaluación de estructuras existentes ante sismos

Arturo Tena Colunga

Memorias del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Veracruz, México, 1997 12 pp.

Una de las principales preocupaciones en la práctica de la ingeniería estructural ha sido estimar, de una manera sencilla, la respuesta no lineal de las estructuras ante sismos intensos, ya sea con fines de diseño original como de evaluación de estructuras existentes. Se presenta el concepto de espectros de demanda de ductilidad, que es una variación del espectro no lineal de ductilidad (isoductilidades).

A sample holder for the study of isothermal heat of hydration of cement

P. Freiesleben Hansen y O. Mejlhede Jensen

Materials and Structures vol. 31, marzo de 1998, 4 pp.

Se analizan diferentes técnicas para medir el calor de hidratación del cemento y se describe un soporte de muestra proyectado especialmente para medir el calor isotérmico de hidratación que favorece la investigación de las rápidas reacciones iniciales cemento/agua. Además, hace posible las mediciones a relaciones muy bajas agua/cemento.

High-strength concrete (HSC) structural walls

Anshu Gupta y Vijaya Rangan

vol. 95, núm. 2, marzo-abril de 1998, 11 pp

Se probaron muros estructurales de ocho concretos de alta resistencia (HSC) sujetos a cargas en el plano y horizontales. Los parámetros de prueba incluidos en el estudio fueron relación longitudinal y transversal de refuerzo y carga axial. La resistencia al cortante de los muros se calculó utilizando un análisis de esfuerzo del tablero central. La resistencia a la

flexión se calculó por la teoría convencional de secciones de concreto reforzado sujetas a momento combinado de flexión y de compresión axial.

Interrelationships between reinforcing-bar physical properties and seismic demands

John F. McDermott

ACI Structural Journal, vol. 95, núm. 2, marzo-abril de 1998, 8 pp.

Se realizó un estudio teórico sobre las relaciones entre propiedades físicas de varillas de refuerzo y demandas sísmicas para acero de grado 60 en vigas de marcos rígidos de concreto reforzado sujeto a desviación lateral de 2 por ciento. No obstante, la consideración de altas deformaciones del acero exhibida en los cálculos, particularmente para vigas que tienen una relación pequeña de longitud respecto al peralte, el estudio sugiere que sería prudente, para estructuras de concreto reforzado resistentes a sismos, especificar acero A706 o A615 para tener al menos una elongación mínima de 10 por ciento en 203 milímetros.

Development of a general model of aggregate rebound for dry-mix shotcrete / parte II

Hugo S. Armelin y Nemkumar Banthia

Materials and Structures,
vol. 31, abril de 1998, 8 pp.

Se describe un modelo que proporciona una idea novedosa en el mecanismo comprendido en el rebote de agregado de concreto lanzado por vía seca y ofrece explicaciones racionales sobre su dependencia del tamaño de agregado, contenido de cemento, consistencia del lanzamiento y presencia de humo de sílice.

> Developments and applications of high-performance concrete

R. Breitenbücher<

Materials and Structures, vol. 31, abril de 1998, 7 pp.

En estructuras de concreto de alto desempeño se pueden utilizar tanto la resistencia incrementada como la microestructura mejorada. Ambos efectos se realizan empleando una tecnología perfeccionada del concreto, a saber, una relación extremadamente baja agua/cemento y la adición de humo de sílice. En el caso de concreto de alto desempeño, el acero de refuerzo se puede reducir al mínimo así como las dimensiones de los miembros estructurales. Este tipo de concreto se utiliza principalmente en columnas, muros, etc. en edificaciones altas, como una opción respecto de estructuras de acero. Sin embargo, en comparación con estructuras de concreto reforzado normales, se necesitan algunas medidas adicionales para obtener una adecuada resistencia al fuego.

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

**Revista Construcción y Tecnología
Noviembre 1999**

Todos los derechos reservados

[ARTICULO
ANTERIOR](#)



[ARTICULO
SIGUIENTE](#)