

CONTRA VIENTO, SISMO Y SOBRECARGAS

Diagnóstico de daños en las estructuras de hormigón armado. Métodos para recuperar la resistencia o revertir la degradación.



Ataque por acción mecánica. El sismo es uno de ellos, junto con las sobrecargas, los asentamientos o el creep. EFE

Los desplomes, cambios de ángulo, flechas excesivas en pisos y, en general, deformaciones en la estructura, pueden ser fuentes de análisis para establecer un diagnóstico.

Un elemento sumamente valioso a la hora de establecer el diagnóstico y la evaluación del estado funcional y de seguridad de una estructura es el proyecto de la misma. Este puede aportar muchos datos de gran interés y simplificar la etapa de análisis, especialmente en la parte de materiales y de cálculo.

Hay que tener presente que, cuando se está analizando una estructura antigua que presenta problemas, hay que hacerlo situándose en la época en que se construyó y, por tanto, con los códigos existentes en ella. Es frecuente cometer el error de aplicar en el análisis de una estructura antigua criterios de cálculo modernos de momento máximo, cuando ésta había sido calculada por la teoría elástica. Si la comprobación o análisis es sobre la seguridad con la finalidad de reparar o reforzar, los criterios de cálculo a emplear son los modernos.

El establecimiento de un diagnóstico debe ajustarse a un plan de trabajo previamente definido en el cual se incluya:

- Un muestreo con indicación de los elementos de la estructura a inspeccionar, su situación y número de ensayos a realizar en ellos.
- Enumeración del tipo de ensayo a efectuar en cada elemento y elaboración de las fichas individuales correspondientes.
- Elaboración de croquis y planos de cada elemento inspeccionado, con detalle de los ensayos realizados y los resultados obtenidos.



Volcamiento. Destrucción total de un edificio chileno. AP

En este sentido, la fotografía se presenta como un medio auxiliar muy válido.

- Medios auxiliares requeridos.

Hay lesiones que no afectan a la integridad mecánica de la estructura y cuya reparación puede realizarse sin entrar en un análisis estructural. Estos casos suelen producirse con algún tipo de fisuras estabilizadas provocadas por retracción de secado, cuando existen "nidos de abeja" o zonas en las que el hormigón ha penetrado mal en la pieza.

Sin embargo, hay otros casos mucho más complejos en los que hay que realizar una evaluación de la capacidad mecánica resistente de la estructura, o más frecuentemente de elementos de la misma, a fin de conocer la importancia y el tipo de reparación a realizar y las medidas de seguridad que habrá que tomar.

La determinación de la resistencia residual de la estructura se puede llevar a efecto mediante métodos empíricos, analíticos y mediante pruebas de carga.

Los métodos empíricos están basados en observaciones directas y conllevan un número de ensayos mínimo. El nivel de información obtenido, en muchos casos, suele ser suficiente, especialmente si no es necesaria una intervención importante. El nivel de precisión obtenido es escaso como también lo es el costo de su aplicación.

Los métodos analíticos se fundamentan en el recálculo de la estructura y más frecuentemente de elementos de la misma, a fin de conocer la probabilidad de que se produzca una falla bien en estados límites, últimos o de servicio. Además, se utilizan frecuentemente sistemas de diagnóstico por imágenes, como ser gammagrafías o resonancias. Estos estudios son mucho más precisos que los empíricos pero a veces tan complejos que es imposible su aplicación. Son de alto costo y duración, aunque necesarios cuando la información dada por los primeros no es concluyente.

A veces se puede tener una idea precisa del comportamiento de una estructura dañada mediante el empleo de pruebas de carga escalonadas. Estas pruebas se hacen por escalones sucesivos cada uno de mayor valor que el precedente, existiendo entre cada escalón y el siguiente una descarga total y midiendo las deformaciones en cada descarga y carga sucesivas.

Este tipo de ensayos únicamente se realiza sobre elementos trabajando a flexión y con ellos se puede conocer la carga máxima que se puede aplicar a una estructura dañada y sin correr el riesgo de llevarla a un estado límite último. Alguno de estos métodos se puede aplicar a los casos de:

- Estructuras dañadas por acciones mecánicas.
- Cargas accidentales (fuego, explosiones, impactos).
- Cargas excepcionales consideradas en proyecto pero que han producido daños superiores a lo previsto.
- Cargas excesivas (bibliotecas, almacenamiento de elementos muy pesados, etc.)
- Cambio de uso de la estructura (aumento de sobrecargas de uso).
- Modificación de estructuras (eliminación de un pilar, aumento del número de plantas).

- Acciones químicas sobre el hormigón (reacción álcali-sílice, sulfatos).
- Corrosión de armaduras.

El método analítico está basado en el cálculo de las solicitaciones que resiste una estructura en el estado actual y las que producirían las cargas actuantes. El fin es determinar un nuevo coeficiente de mayoración de acciones y poder tomar las decisiones adecuadas.

En este caso pueden emplearse cualquier tipo de hipótesis de cálculo lo que permite mayor libertad de acción al proyectista.

En el análisis hay que tener en cuenta que las estructuras anteriores a los años 60 se calculaban suponiendo un comportamiento elástico del hormigón armado y un modelo estructural muy simple y que, por supuesto, no era el óptimo para sacar el máximo rendimiento a la capacidad resistente potencial del material. Generalmente, algunas acciones indirectas como la de la temperatura o movimientos impuestos en las fundaciones, no se tenían en cuenta lo que suele ser fuente de algunas fallas.

En la evaluación de la seguridad se consideran las cargas permanentes y las sobrecargas que establecen las normas de acuerdo con el destino de la estructura. Una de las condiciones necesarias es definir el esquema estructural y las acciones actuantes para llevar a cabo un primer análisis. Este se puede realizar sobre modelos simplistas trabajando casi isostáticamente para así llegar a conocer el orden de magnitud de las solicitaciones y tensiones en los elementos y comprobar si los daños que presentan éstos corresponden a los deducidos de las hipótesis, en cuyo caso se puede afirmar que se deben a causas estructurales.

En la evaluación teórica de la seguridad se toman como acciones las cargas permanentes y las sobrecargas definidas por las normas o códigos en vigor, calculando las solicitaciones sobre la base del modelo estructural y las tensiones teniendo en cuenta las características mecánicas obtenidas en los ensayos de laboratorio. Todo lo anterior permite el cálculo de las solicitaciones y la estimación, basándose generalmente en métodos semi-probabilísticos, del coeficiente de seguridad de la estructura, es decir, de la relación entre la carga de agotamiento y la carga actuante.

Las pruebas de carga escalonadas se aplican cuando no se tienen antecedentes de la estructura dañada (proyecto, normativa) y no se puede realizar un análisis teórico. Como se ha indicado, las pruebas de carga sólo se emplean en elementos sometidos a flexión, suspendiendo los escalones de carga cuando se superan determinados valores de la flecha o cuando la estructura deja de recuperarse elásticamente.

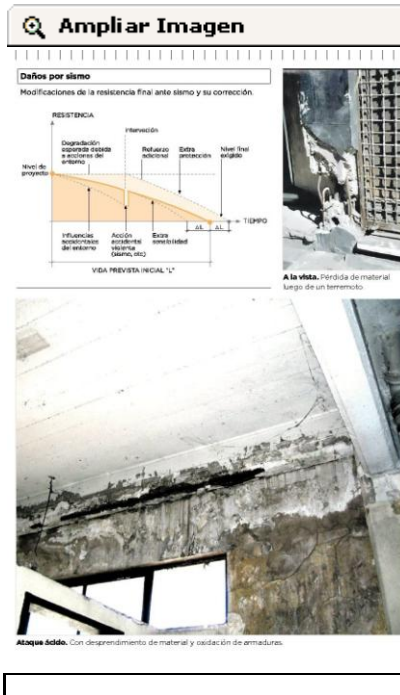
De los hormigones habitualmente usados en el país, el más difundido es el del tipo plástico, por ser su relación A/C de 0,70, que lo hace de uso casi específico para estructuras portantes de edificios. Este hormigón facilita el correcto llenado de los encofrados y es muy común que los constructores, con la intención de mejorar las resistencias estructurales, traten de restarle agua de amasado a la pasta. Esta posición, que no es del todo incorrecta, más de una vez provoca varias patologías.

Una de las más comunes es la formación de "nidos de abeja" llamándose así a la formación de espacios vacíos en los moldes ya sea por la alta densidad del hormigón o por la falta de "picado" o vibrado de la mezcla volcada.

Esto se trata de subsanar completando los huecos con la aplicación de un azotado de cemento.

Desde ya que esa mezcla aplicada luego del desencofrado no colabora estructuralmente y la única función que se le podría atribuir, fuera de la estética, es la de proteger al hierro de las armaduras.

Otra de las patologías fácilmente detectable es la falta de llenado en los cabezales de columna en su encuentro con vigas y losas debilitando notablemente dichos nudos estructurales. El hormigón es una mezcla con gran contenido de agua y como tal, se asienta



de arriba hacia abajo, ya sea por gravedad, picado, vibrado, etcétera.

Asimismo es común ver que los espacios entre tablas de encofrado (y más aún cuando este ya tiene un uso bastante prolongado) son llenados con papel para evitar el escurrimiento de la pasta de hormigón. Si bien no se pierde hormigón, esto permite que el elemento de menor masa (el agua) se escape con absoluta libertad, agua que será necesaria para la correcta hidratación del cemento.

En consecuencia, quedará depositada en el fondo de la losa una capa muy debilitada, por lavado, y una capa superior a la que le faltó reaccionar químicamente en su totalidad o lograr una correcta plasticidad.

Esta situación se traduce rápidamente en fisuras y grietas en la cara superior expuesta, hecho que se ve agravado por la falta de regado una vez producido el fragüe. Si bien esto no sería muy grave, ante una gran tensión de vapor bajo el local que cubre esa losa, sin barrera de vapor, éste atravesaría la losa con la posibilidad de condensación. Se conforma así una vía expedita hacia el contrapiso o, peor aún, a la aislación térmica a la que humectaría perdiendo sus propiedades aislantes.

Ataques de tipo físicos, químicos o mecánicos

En posición de trabajo, la estructura de hormigón puede sufrir una serie de patologías producto de ataques de tipo físicos como los saltos térmicos de gran magnitud, el agua de lluvia, el congelamiento y el calor desmedido. La acción de los químicos se manifiesta en ataque de ácidos, azúcares, aguas salitrosas y sales derivadas del ácido sulfúrico. El cambio de destino de los locales (con sobrecargas no calculadas), la acción de vientos que superan las hipótesis de cálculo, los asentamientos que pueda sufrir el suelo, sismos y el llamado "creep", son posibles ataques mecánicos.

- Agua de lluvia. El agua pura tiene la característica de tener un bajo contenido de cal y sales en disolución. El fenómeno de la lluvia ácida no sólo ataca a los hormigones en el comienzo de su período de fragüe sino a las piedras naturales que posean carbonato de calcio como parte principal constitutiva de su masa (mármoles, lajas y piedras calizas).
- Congelamiento: Este fenómeno generará una patología destructiva en la medida de ser repetitivo.

Una helada circunstancial difícilmente pueda "romper" un hormigón. Pero si se forman cristales de hielo durante el período de amasado o puesta en obra, éstos no permitirán humectar el grano de cemento correctamente, generando asimismo un aumento del volumen de la masa líquida, ahora congelada, que en algunos casos puede llegar a desbloquear la masa de hormigón una vez endurecido.

En zonas muy frías es común calentar el agua de amasado.

- Calor en exceso. La desecación brusca del agua de amasado produce un debilitamiento tal de la mezcla que la puede llevar a colapsar casi en forma inmediata al momento del desencofrado. Para evitar este fenómeno es necesario mantener bajo humedad constante la estructura, ya sea por regado abundante o con mantas capaces de retener el agua.
- Ataque de ácidos. Los cementos se caracterizan por tener una reacción alcalina y, al ser atacados por los ácidos, formarán diferentes sales (y múltiples patologías según el tipo de reacción). Si se trabaja en ambientes en contacto con materiales ácidos, estudiar con sumo cuidado qué tipo de hormigón usar o bien qué aditivo incorporarle.
- Azúcares. En locales con presencia de cualquier tipo de glúcidos se verifica un ataque lento pero sostenido de éstos sobre el hormigón, inclusive luego de un largo tiempo puesto en servicio.

Pese a esto, se ha comprobado que en ciertos casos y en pequeñas dosis, el azúcar optimiza su comportamiento en cuanto a su resistencia mecánica.

- Aguas salitrosas y sales derivadas del ácido sulfúrico. Es sabido que los derivados del azufre atacan al hormigón. El más peligroso es el sulfoaluminato de calcio, que destruye la masa de hormigón hasta transformarlo por disgregación en una pasta soluble. En hormigones de conductos cloacales, instalaciones ferroviarias, túneles en contacto con terrenos selenitosos, se recomienda usar cementos puzzolánicos, metalúrgicos o aluminosos. Los agregados gruesos o finos, y el terreno, deberán estar libres de sulfatos que se solubilizan por acción del agua de amasado. Esta recomendación es válida en zonas próximas al mar. El agua de lluvia lava la arena y disuelve los sulfatos pero, a su vez, arrastra hacia más profundidad los granos finos perdiendo diversidad granulométrica.
- Cambio de destino. Una de las formas de provocar daños a la estructura sería aumentar las cargas, eliminar tabiques que, por ejemplo, fueron calculados como de contraviento o el daño creado por golpes rítmicos que, por efecto resonancia, pueden provocar el colapso de la estructura. Las fisuras se evidencian en los muros ya que el hormigón tiene una flexibilidad notable. Ante su aparición, debemos investigar cómo era el edificio en su estado original y si sufrió modificaciones, analizar cuidadosamente si estas fisuras se acrecientan o se estabilizan. Para esto conviene marcar el perímetro de las mismas (anotando la fecha de la marcación) colocar testigos de yeso y dejar a la estructura que siga en trabajo (siempre y cuando no ofrezca peligro inmediato).
- Vientos, asentamientos del suelo, sismos y "creep". El más común y "manejable" es el viento, que actúa casi siempre en un mismo sentido (vientos predominantes) lo que hace posible su control a través de tabiques de contraviento que llegan hasta el plano de fundación o bien pórticos múltiples. Por efecto viento, el edificio tenderá al volcamiento con el agregado, en la cara opuesta a la que recibe el empuje, un efecto succión. El conjunto edificado actúa como una ménsula vertical empotrada en el suelo.

Todo proyectista de estructuras tiene en cuenta este fenómeno. La situación entonces se complica cuando los vientos asumen carácter de huracanados de dirección cambiante y brusca. En esta situación todo el edificio colabora, fundamentalmente aportando peso propio y sobrecarga, pese a lo cual pueden llegar a manifestarse, por efecto "látigo", daños considerables de muy difícil diagnóstico.

Este tema está ligado directamente a la mecánica del suelo. Si los suelos son compresibles (arcillosos, arenosos, blandos en general) pueden llegar a sufrir asentamientos no parejos en toda su superficie de contacto con las bases. Este fenómeno de vientos muy fuertes, casi siempre acompañados de lluvias muy intensas llega a veces a "lavar" las bases por brusca humectación del suelo agravando así la estabilidad vertical del conjunto.

Otro factor mucho más destructivo e impredecible es el sismo, el que podría definirse como el de una acción sobre las bases transmitidas al primer nudo articulado.

El problema que genera esta acción multidireccional es de muy difícil control ya que provoca esfuerzos de flexión, torsión, flexo

compresión, roto-traslación.

 **Ampliar Imagen**



Colapso. Daños en una estructura ocasionados por un sismo.

Una solución absolutamente novedosa y a su vez exitosa fue la adoptada por F. L. Wright cuando montó el hotel imperial de Tokio sobre una cuña articulada a la manera de una rótula.

El "creep" se manifiesta en un estiramiento de los hierros del hormigón, afectando por ejemplo a una columna, viga y losa en un determinado sector. Si bien una estructura se pone en trabajo una vez finalizada, los fenómenos químicos de endurecimiento continúan por acción de los aluminatos tricálcicos y de los silicatos bicálcicos, fenómeno que perdura indefinidamente. Generalmente el creep es de muy lento desarrollo, aparece entre los dos y ocho años de terminada la estructura y, si bien no llega a generar colapso, provoca una seria inquietud por parte del usuario. Ante una situación de este tipo hay que analizar con mucha cautela y aplomo el comportamiento del total del edificio para no confundirlo con alguna manifestación proveniente de algunos de los ataques antes enunciados.

Ante una estructura dañada se puede optar por elegir varias alternativas y esta elección estará en función de la importancia de los daños. Las alternativas son: - No intervenir durante un cierto tiempo.

 **Ampliar Imagen**


- Recalcular la estructura para determinar su resistencia.

- Frenar el deterioro sin actuar sobre la capacidad resistente.

- Reparar o reforzar parte o toda la estructura.

 **Ampliar Imagen**

EL AUTOR

 **Eduardo W. Gordín** es arquitecto egresado de la UBA. Es profesor jefe de la cátedra de Introducción a los Tipos Constructivos en la UBA y profesor de posgrado en colegios de arquitectos nacionales y del exterior. Ha actuado como perito de la justicia y como consultor técnico.

Terapéutica

Una estructura se proyecta para una vida útil determinada debiendo llegar al final de la misma en un estado de servicio adecuado y sin haber realizado en ella reparaciones. El estado resistente de la estructura discurrirá por una curva de degradación decreciente en el tiempo pero prevista de acuerdo con las condiciones del entorno.

Si por influencias accidentales del entorno (atmósfera agresiva), o por acciones accidentales (sismos, fuego), se produce un descenso mayor de la curva de degradación, la vida útil de la estructura se acortará salvo que se realice una intervención que lleve la curva a la posición prevista en proyecto, y una protección que impida que el entorno agresivo haga descender de nuevo la curva (ver **Daños...**).

Con el refuerzo se puede aumentar la capacidad resistente de la estructura (elevación de plantas, aumento de sobrecargas de uso, etc.), alargar la vida útil de la estructura, o ambas cosas simultáneamente. Si la opción elegida es reparar o reforzar, hay métodos

pasivos y activos. Los primeros son aquellos que entran en carga cuando la estructura sigue deformándose a partir del momento del refuerzo. Son los más fáciles de realizar y son tanto

más eficaces cuanto más descargada esté la estructura. Se emplean con elementos que aún están muy lejos de llegar al agotamiento.

Los activos permiten introducir solicitudes en la estructura con lo cual son capaces de recuperar la resistencia y posición original de los elementos estructurales. Son más complejos y se pueden utilizar en elementos cercanos al agotamiento.

No hay un método único de reparación o refuerzo, al igual que no existe un sólo material adecuado para llevarlo a efecto. Estarán en función de la naturaleza de los daños. Cuando se utilicen varios métodos combinados hay que tener en cuenta la posibilidad de interacciones entre ellos. La corrosión de armaduras es un factor a considerar dado que, por ejemplo, puede quedar atrapada agua y acelerar la carbonatación.

Las principales técnicas empleadas en la reparación o refuerzo de estructuras de hormigón son: - Los recrecidos basados en hormigón de cemento portland o de hormigones modificados con polímeros.

- La utilización de estructuras metálicas adicionales formadas por perfiles laminados, tanto en vigas como en pilares.

- El pretensado parcial o total de elementos.

- La utilización de bandas de acero o de fibra de carbono-epoxi, encoladas con resina epoxídica.

Luego de la intervención, los elementos estructurales poseen una rigidez muy superior a la original. Esto obliga a reconsiderar cómo se redistribuyen las cargas sobre los elementos concurrentes o próximos a ellos. Esto también influye también en el período propio de vibración de la estructura.

No hay que pensar que este efecto se produce únicamente por cambio de las dimensiones de las secciones sino que también puede estar provocado por las diferentes características de los materiales que forman el nuevo elemento reparado o reforzado. Así es frecuente que esta redistribución de acciones-efecto sea consecuencia del diferente módulo de elasticidad o fluencia del hormigón nuevo que encamina un pilar o un muro existente. En ambos casos se produce una deformación diferencial que habrá que tener en consideración. Como consecuencia de esta redistribución, puede darse el caso de que haya que reforzar algunos elementos que estaban en buen estado y simplemente por el hecho de estar próximos.

Un aspecto a tener en cuenta es el factor estético. A veces se realizan reparaciones que no sólo no pasan desapercibidas sino que afean enormemente la construcción. Por supuesto que hay que sumar uno dato fundamental que es el costo de la reparación y el tiempo de ejecución.

En la actualidad, las técnicas y materiales de reparación han experimentado un avance extraordinario. Hoy es posible re-alkalinizar por difusión un hormigón carbonatado o extraer electro-químicamente de un hormigón los iones cloro que pueden provocar la corrosión de las armaduras. O hacer un control catódico de una zona armada y emplear bandas de fibras de carbono unidas al hormigón con un adhesivo epoxi para aumentar su capacidad resistente a flexión.