

DETERMINACIÓN DE CAUSA DE FISURACIÓN EN EDIFICIO DE HORMIGON ARMADO Y METODOLOGÍA DE REHABILITACIÓN

Palazzo, Gustavo; Guzmán, Marcelo; Calderón, Francisco
Ingenieros en construcciones
SOLIDUS, Ingenieros Consultores – Universidad Tecnológica Nacional, Ceredetec
E-mail: gpalazzo@solidus-ing.com

RESUMEN

En la etapa final de construcción de un edificio existente, se observaron numerosas fisuras en la estructura de hormigón armado. Este edificio cuenta con una cubierta metálica que se apoya en tabiques de hormigón armado, los cuales forman los muros exteriores e interiores, y toda la construcción descansa sobre una platea de fundación. Este trabajo tiene como objetivo describir la metodología utilizada para relevar las fisuras, identificar sus causas, analizar su evolución, evaluar su impacto en la seguridad del edificio y describir la estrategia de rehabilitación implementada. Además, se realiza una consideración inicial sobre las especificaciones en los reglamentos nacionales e internacionales para estas acciones. Las conclusiones destacan la importancia de diseñar una metodología de evaluación adaptada a las circunstancias específicas de una obra y la necesidad de contar con prescripciones reglamentarias específicas.

ABSTRACT

During the final stage of construction of an existing building, numerous cracks appeared in the reinforced concrete structure. This building features a metal roof supported by reinforced concrete partitions that form both exterior and interior walls, and the entire construction rests on a foundation slab. The objective of this work is to describe the methodology used to survey the cracks, identify their causes, analyze their evolution, evaluate their impact on the building's safety, and describe the implemented rehabilitation strategy. Additionally, an initial consideration of the specifications in national and international regulations for these actions is presented. The conclusions emphasize the importance of designing an evaluation methodology tailored to the specific circumstances of a project and the need for specific regulatory prescriptions.

Organiza:

INTRODUCCIÓN

En la etapa final de construcción de un edificio con estructura de hormigón armado en Argentina, se registraron numerosas fisuras. Esta deficiencia en la terminación y el aspecto superficial de la estructura generó preocupación, por lo que los autores de este trabajo fueron convocados para evaluar el problema y proponer estrategias de rehabilitación.

El objetivo de este trabajo es, después de caracterizar la construcción, describir la metodología de evaluación diseñada para valorar la situación del edificio en relación con las fisuras producidas, analizar los resultados de la evaluación y proponer estrategias de rehabilitación para resolver la no conformidad mencionada. Las secciones siguientes del trabajo se estructuran según estos objetivos.

El reglamento argentino de estructuras de hormigón¹ tiene un capítulo, el 24, destinado a la aprobación y recepción de estructuras nuevas, terminadas. La sección 24.5 de ese capítulo, se refiere a criterios para la evaluación y corrección de las no conformidades; considerando en la subsección 24.5.4., la no conformidad con respecto a la terminación y al aspecto superficial de la estructura.

Para la sección 24.5 se especifica que en los artículos allí incluidos se indican los criterios que se deberían aplicar cuando se detecten no conformidades con respecto a los requisitos exigidos para la obra. Las situaciones consideradas en esta sección cubren los casos que ocurren con mayor frecuencia. Los criterios a aplicar cuando se detecten otras no conformidades deben ser decididos por el Projectista o Diseñador Estructural y/o el Director de Obra, según corresponda de acuerdo con la naturaleza de la no conformidad.

En relación con la no conformidad mencionada, solo se establece que el pliego de Especificaciones Técnicas Particulares de la obra debería establecer las condiciones a cumplir por las superficies de estructuras expuestas a la vista, respecto a su aspecto, color y textura; y, de tener deficiencias, como deberían ser reparadas, acondicionadas y tratadas.

Dada la falta de especificaciones en el reglamento nacional respecto a la deficiencia ocurrida en la obra, se tomó de referencia para este trabajo el reglamento americano específico para la evaluación, reparación y rehabilitación de estructuras de hormigón existentes². Este reglamento considera en particular el problema de las fisuras, vinculándose con otro documento específico referido a causas, evaluación y reparación de grietas en estructuras de hormigón³.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EDIFICIO

El edificio está compuesto por los sectores A, B, C, D y el núcleo central N, los cuales se identifican en la Figura 1(a). La construcción abarca una superficie aproximada de 3,700 m². Los primeros cuatro sectores mencionados tienen dos niveles, como se

Organiza:

resalta en azul en la Figura 1(b) para el sector D, y se ubican en el perímetro del edificio. Cada uno de estos sectores presenta una junta constructiva en los cambios de dirección.

Las edificaciones están construidas con losas y tabiques de hormigón armado, al igual que el núcleo central N, que también tiene dos niveles. Los sectores mencionados están fundados sobre una platea del mismo material. Entre estas edificaciones se encuentran patios internos cubiertos con techos metálicos, que también se observan en la Figura 1, y poseen contrapiso armado.



*Figura 1 (a). Vista general del edificio
(identificación de sectores A, B, C, D y N)*



*Figura 1 (b). Vista general del edificio
(edificación de hormigón armado resaltada en azul en el sector D)*

Organiza:

Según la información proporcionada por el director técnico de la obra, hace un par de años se produjo una fuga en un conducto de agua a alta presión en el sector del núcleo N, específicamente en el lado donde se encuentran los sectores C y D. Este profesional, que no estaba en funciones en el momento del incidente, indicó que la cañería fue reparada y el socavón originado por la fuga fue rellenado..

METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN

Para abordar la deficiencia especificada en la introducción de este trabajo, se diseñó una metodología de evaluación con el fin de determinar las causas de las fisuras, su evolución, y si estas comprometían la seguridad estructural. La metodología incluyó la revisión de la documentación existente, el relevamiento y control de las fisuras, y el análisis del suelo de fundación. Los detalles de cada procedimiento se presentan en las subsecciones siguientes.

Evaluación de la documentación existente

Se consultó la documentación de obra relevante para el estudio, la cual incluyó:

- . Ensayos a compresión de núcleos de hormigón.
- . Planos con detalles de armado en tabiques (con verificación en obra mediante pachómetro).
- . Estudios del suelo de fundación.

Relevamiento de fisuras

Se realizó una inspección visual para identificar las fisuras presentes en los tabiques de cada sector, tanto exteriores como interiores, tal como se muestra en la Figura 1. Las fisuras fueron fotografiadas y resaltadas en color rojo para facilitar su identificación, como se observa en las Figuras 2 a 5. Este relevamiento tuvo como objetivo determinar los espesores de las fisuras y los patrones de fisuración. Además, se observaron separaciones en las juntas constructivas de los sectores C y D, como se aprecia en la Figura 6.

Organiza:



Figura 2. Fisuras en tabiques exteriores



Figura 3. Fisuras en entrada a uno de los sectores

Organiza:



Figura 4 (a). Fisuras en tabiques interiores

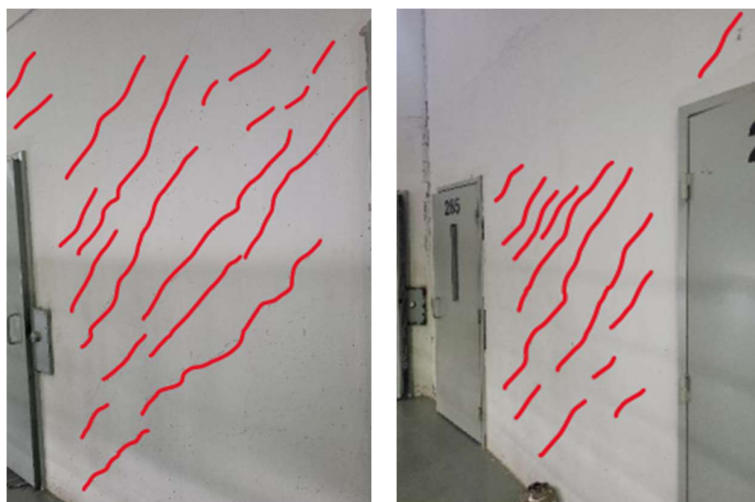


Figura 4 (b). Fisuras en tabiques interiores

Organiza:



Figura 5 (a). Fisuras en núcleo central N (planta baja)



Figura 5 (b). Fisuras en núcleo central N (planta alta)

Organiza:



Figura 6. Separación en una junta constructiva

Control de evolución de fisuras

Para determinar si las fisuras se habían estabilizado, se colocaron numerosos testigos de vidrio adheridos a cada lado de las fisuras, como se muestra en la Figura 7. El seguimiento de estos testigos se realizó al mes, a los 3 meses y a los 6 meses.



Figura 7. Control de fisuras con testigo de vidrio

Organiza:

Evaluación del suelo de fundación

Se fijaron 8 puntos de sondeo en el sector del edificio donde se produjo la falla de la tubería de agua a alta presión, identificados en la Figura 8. Esta evaluación tuvo como objetivo caracterizar el suelo y el terraplén bajo las plateas y detectar socavones. Las actividades realizadas incluyeron:

- . Obtención de curvas granulométricas del terraplén;
- . Ensayos de penetración dinámica, como se muestra en la Figura 9;
- . Determinación de la capacidad de carga del terraplén;
- . Detección de socavones mediante perforaciones en las zonas de veredines y platea de hormigón (ver Figura 10(a)), y excavaciones en el terraplén (ver Figura 10(b)).

Además, se realizó una inspección con georadar para evaluar la posibilidad de socavones bajo todas las plateas, como muestra la Figura 11.



Figura 8. Zonas de sondeos del suelo de fundación

Organiza:



Figura 9. Ensayo de penetración en uno de los sondeos



Figura 10 (a). Evaluación de socavones

Organiza:

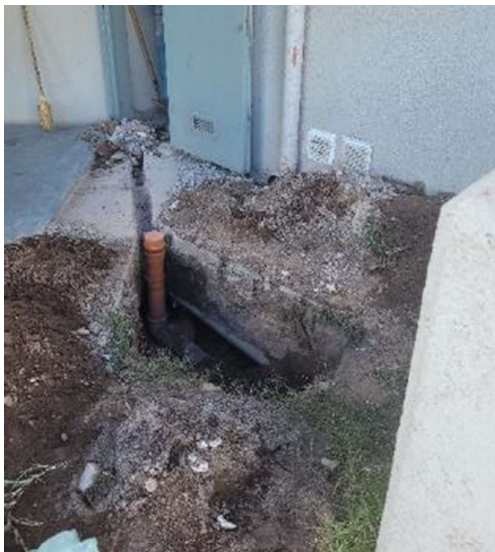


Figura 10 (b). Evaluación de socavones



Figura 11. Estudio con georadar

Organiza:

RESULTADOS GENERALES DE LA EVALUACIÓN

De las diferentes etapas de la metodología de evaluación implementada se deducen los siguientes resultados:

. Evaluación de la documentación existente

No se hallaron relaciones causales entre las fisuras que tenía el edificio y la resistencia del hormigón según los ensayos de núcleos, ni respecto a la situación de la armadura (que en las muestras analizadas con pachómetro se correspondía las separaciones de estas con la información dada en planos). Tampoco se hallaron datos relevantes para la deficiencia en consideración en el estudio de suelo original de la obra.

Del segundo estudio de suelo, realizado luego de la aparición de las fisuras, se destaca la recomendación referida a realizar un recalce de las plateas, para lo cual deberán auscultarse el suelo por el interior del edificio a fin de pasar el estrato de arena y encontrar la grava.

. Relevamiento de fisuras

Se observó una mayor cantidad de fisuras en los sectores C y D del edificio, particularmente en los tabiques interiores contiguos al núcleo central N.

Los espesores de fisuras eran menores a 1,0 mm, y el patrón de las mismas sugiere un asentamiento diferencial del edificio en el sector mencionado (núcleo central N, del lado de los sectores C y D).

Las juntas de construcción en los sectores C y D también mostraban signos de asentamiento diferencial.

. Control de evolución de fisuras

Durante los 6 meses de seguimiento no se observaron fracturas de los testigos de vidrios, ni desprendimiento de sus extremos; concluyendo entonces que el proceso de asentamiento diferencial se habría estabilizado.

. Evaluación del suelo de fundación

El terraplén presenta una buena resistencia a la penetración; y el suelo bajo el mismo presenta una capacidad similar a la estimada en el estudio de suelos inicial. En algunos sondeos, se encontró suelo con humedad elevada, probablemente debido a pérdidas actuales en las cañerías. Además, en sondeos con alta humedad se encontraron estratos de suelo con muy baja capacidad.

Organiza:

En la auscultación del suelo bajo la platea solo se detectaron pequeños socavones en los extremos de los sectores C y D junto al núcleo central N. Sin embargo, no se encontraron otros socavones u oquedades en otros sectores bajo las plateas mediante el uso de georadar.

. Conclusiones generales de la evaluación

.. *Causa de las fisuras:* Se atribuye el asentamiento del bloque central y de los bloques contiguos (C y D) a la pérdida de agua en una cañería dentro del núcleo central, mencionada por el director técnico de la obra. Esta pérdida habría provocado el asentamiento del núcleo y de los bloques vecinos

.. *Estabilización del asentamiento:* El hecho de que los testigos sobre las fisuras no hayan registrado movimiento después de seis meses sugiere que el proceso de asentamiento diferencial podría haberse detenido o estar avanzando muy lentamente.

.. *Recalce de la platea:* De mantenerse la situación actual de los asentamientos, no sería necesario implementar el refuerzo en la platea sugerido en el segundo estudio de suelo.

.. *Pruebas hidráulicas:* Todas las cañerías deben someterse a pruebas hidráulicas periódicas para confirmar que no existen nuevas pérdidas de agua que incrementen la humedad del suelo.

.. *Seguridad estructural:* Con base en toda la información analizada, se puede suponer que las fisuras en los tabiques de hormigón armado no representan un riesgo de colapso para la estructura. No obstante, sí constituyen una no conformidad respecto a la terminación y al aspecto superficial de la estructura, por lo que debería procederse a su rehabilitación.

.. *Rehabilitación de columnas:* Se recomienda la rehabilitación (restablecimiento de su capacidad original) de las cuatro columnas en la entrada de cada sector del edificio, en el segundo nivel del núcleo central N.

METODOLOGÍA DE REHABILITACIÓN

Las metodologías de rehabilitación implementadas, según los resultados de la evaluación, se enfocaron en restablecer la capacidad de las columnas fisuradas y los tabiques de hormigón armado con fisuras. A continuación, se describen estas dos estrategias en detalle.

Organiza:

Rehabilitación de columnas del núcleo central N

Las columnas de planta alta del núcleo central, en zona de ventanas, presentaban fisuras importantes. Para su rehabilitación, se propuso la incorporación de polímeros reforzados con fibra de carbono (FRP) en forma de tejido. Este refuerzo fue diseñado para proporcionar una capacidad similar a la del hormigón original sin fisuras.

El proceso de aplicación del sistema FRP comenzó con el sellado de las fisuras y la preparación de la superficie de las columnas para asegurar una terminación compatible con el material a incorporar. Esta fase se muestra en la Figura 12(a).

A continuación, como muestra la Figura 12 (b) de la izq., se aplicaron los imprimantes, adhesivos y tejido FRP que conforman el sistema de rehabilitación elegido. El estado final del material incorporado a la estructura se observa en la Figura 12 (b) de la der.; el cual se protege finalmente con un recubrimiento, como se aprecia en la Figura 12 (c).

Para asegurar la calidad del sistema FRP, se realizaron ensayos de pull-off utilizando el equipo mostrado en la Figura 12(d).

Todo el proceso de diseño, instalación y control de calidad con el sistema FRP se realizó siguiendo la guía americana respectiva sobre el diseño y construcción de sistemas de polímeros reforzados con fibras (FRP) adheridos externamente para reforzar estructuras de hormigón⁴.



*Figura 12 (a). Rehabilitación de columna
(preparación de la superficie de la columna)*

Organiza:



*Figura 12 (b). Rehabilitación de columna
(colocación de FRP)*



*Figura 12 (c). Rehabilitación de columna
(revestimiento de FRP)*

Organiza:



*Figura 12 (d). Rehabilitación de columna
(control de calidad de adhesión FRP al sustrato)*

Rehabilitación de tabiques

En una primera etapa se sellaron las fisuras con una masilla acrílica en base acuosa que al secar forma una sellador elástico e impermeable (sellador acrílico multiuso). Esta masilla tiene excelente elasticidad, lo que adaptarse perfectamente a las contracciones y las dilataciones normales sin deformarse. Se empleó para ello el producto comercial Protex Acryl⁵.

Como terminación superficial final se empleó una mezcla cementicia para reparación de hormigón a la vista, de la marca Protex Concrestetic⁶.

Esta rehabilitación de la superficie de los tabiques, que no fue diseñada por los autores ve este trabajo, se muestra en sus fases de aplicación y final en la Figura 13.

Organiza:



Figura 13 (a). Rehabilitación de tabiques

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado una metodología de evaluación para determinar las causas de las fisuras observadas en numerosos tabiques de hormigón armado de una construcción nueva, así como las estrategias para su rehabilitación.

La metodología de evaluación incluyó:

- . *Evaluación de la documentación existente:* Revisión de ensayos de compresión de núcleos de hormigón, planos de armado y estudios de suelo.
- . *Relevamiento de fisuras:* Inspección visual y documentación de las fisuras presentes en los tabiques interiores y exteriores.
- . *Control de evolución de fisuras:* Seguimiento de la evolución de las fisuras durante seis meses utilizando testigos de vidrio.
- . *Evaluación del suelo de fundación:* Análisis de la capacidad y condiciones del suelo mediante sondeos y pruebas de penetración dinámica.

La estrategia de rehabilitación, basada en los resultados de la evaluación, se centró en:

- . *Rehabilitación de columnas del núcleo central N:* Uso de polímeros reforzados con fibra de carbono (FRP) para restablecer la capacidad estructural de las columnas fisuradas.
- . *Rehabilitación de tabiques:* Sellado de fisuras con masilla acrílica y aplicación de una mezcla cementicia para mejorar la terminación superficial.

A pesar de que en este caso particular se logró identificar la causa de la no conformidad en la terminación y el aspecto superficial de la estructura y proceder a su

Organiza:



rehabilitación, se considera que es necesario avanzar en la elaboración de especificaciones o recomendaciones reglamentarias a nivel nacional para la evaluación y reparación de construcciones existentes.

Referencias

¹CIRSOC 201 (2005). Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. INTI.

²ACI CODE-562 (2021): Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures - Code and Commentary.

³ACI PRC-224.1 (2007) Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures.

⁴ACI PRC-440.2 (2023): Design and Construction of Externally Bonded Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Systems for Strengthening Concrete Structures—Guide.

⁵Protex Argentina. (s.f.). Protex Acryl. Protex Argentina. Recuperado el 20 de junio de 2024, de <https://protexargentina.com/productos/protex-acryl/>.

⁶Protex Argentina. (s.f.). Protex Concrestetic. Protex Argentina. Recuperado el 20 de junio de 2024, de <https://protexargentina.com/productos/protex-concrestetic/>.

Organiza:



Tel/Fax: [+54] 11 5252.8838 | Whatsapp: [+54 9] 11 3180.3746 | Hipólito Yrigoyen 1144 Piso 1° - Of. 2 | Buenos Aires
Horario de atención: de lunes a viernes de 13:00 a 18:00 hs. | Mail: info@jornadasaie.org.ar - www.jornadasaie.org.ar