

Recomendaciones generales para el diagnóstico de la patología estructural

Recomendaciones Técnicas

Raúl Husni

<https://doi.org/10.21041/AlconpatInternacional/RecTec/2020-10-diagnosticodepatologiaestructural>



ALCONPAT Internacional

Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y
Recuperación de la Construcción



RECOMENDACIÓN TÉCNICA

10

2020

Editores

Pedro Garcés Terradillos

Director de Recomendaciones Técnicas
Universidad de Alicante, España

Jorge Alberto Briceño Mena

Subdirector de Recomendaciones Técnicas
Cinvestav del IPN, Unidad Mérida, México

Recomendaciones generales para el diagnóstico de la patología estructural

DOI: <https://doi.org/10.21041/AlconpatInternacional/RecTec/2020-10-diagnosticodepatologiaestructural>

Recomendações gerais para o diagnóstico de patologia estrutural

General recommendations for the diagnosis of structural pathology

Raúl Husni

Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires,
Buenos Aires, Argentina.

Recomendación Técnica No. 10

DIAGNÓSTICO DE LA PATOLOGÍA ESTRUCTURAL

OBJETIVO

Esta Recomendación Técnica constituye una guía para quien deba realizar un diagnóstico estructural y pautas para facilitar el desarrollo de su trabajo

1. INTRODUCCIÓN

La formación académica del ingeniero y del arquitecto vinculado a la construcción, está orientada al diseño y la materialización de una obra civil o industrial, lo que implica que en general está formado para analizar y definir “*como deberían ser las cosas*” para cumplir con determinados fines propuestos.

Considerando la variedad de aspectos que deben tenerse en cuenta en el diseño y la construcción de una obra, como son los funcionales, estéticos, resistentes, climáticos, económicos, etc., es habitual, cuando se trata de obras medianamente complejas, encarar su abordaje mediante la participación de especialistas en las distintas áreas.

Dado que la solución que se encuentra para cada uno de esos aspectos tendrá incidencia sobre los otros, la solución óptima se alcanzará en la medida en que se piense a la obra en cuestión como una organización constructiva, se establezcan claramente las cualidades deseables, se cuantifiquen sus prioridades y se logre una actuación coordinada de todas las partes que intervienen en el diseño, en general armonizadas a través del director del proyecto o de la obra.

No se deberá pensar en que la mejor solución para cada uno de los aspectos involucrados conduzca necesariamente a la solución óptima para la construcción en su totalidad.

Siendo así, **enfrentará permanentemente problemas típicos de los sistemas** donde es válida la expresión de que “**el todo es más que la suma de las partes**”.

De allí el criterio de ver a una obra como un sistema constructivo, compuesto por la

combinación ordenada de subsistemas (instalaciones, estructuras, cerramientos, etc.).

Es requisito esencial para que la construcción pueda cumplir con las funciones que tiene asignada, que no presente fallas, es decir que no tenga un comportamiento deficiente inesperado durante su vida útil, siempre contemplando un costo razonable de mantenimiento.

Cuando esto no ocurre, hablamos de patologías, y en forma particular **cuando la deficiencia está relacionada con la estructura, nuestra referencia es hacia la patología estructural**.

Ante la aparición de alguna deficiencia el profesional se enfrenta a un hecho consumado y en primera instancia debería cambiar su actitud con relación a la que asume frente al proceso de diseño o construcción.

Para realizar la tarea diagnóstica debe abandonar esa aspiración de definir lo que pretende que ocurra, para acceder **indefectiblemente al conocimiento de “cómo son las cosas”**.

Ante un hecho patológico deberá realizar en forma correcta la interpretación de los fenómenos que enfrenta (Diagnóstico), para luego nuevamente poner en juego su capacidad de actuar sobre las cosas y volver a decidir cómo quiere que éstas sean, proponiendo posteriormente las actuaciones del caso (Reparación).

Tanto la tarea de diseño y construcción como la del diagnóstico, nos enfrenta con complejidades y modelos de acción distintos, pero que tienen algo en común, el vernos

enfrentados con un sistema, resultante de subsistemas que interactúan entre sí. El siguiente esquema Figura 1, grafica la diferencia de ambos procesos, con objetivos marcadamente diferentes. En el diseño, alcanzar la solución que considera satisfactoria en un proceso iterativo de ajuste, pudiendo, en

caso extremo de no lograrlo, redefinir la solución del problema constructivo a resolver. En el diagnóstico, el problema ya está planteado y con el mismo criterio de iterativo deberá encontrar el origen y las causas que lo condujeron a un determinado estado.

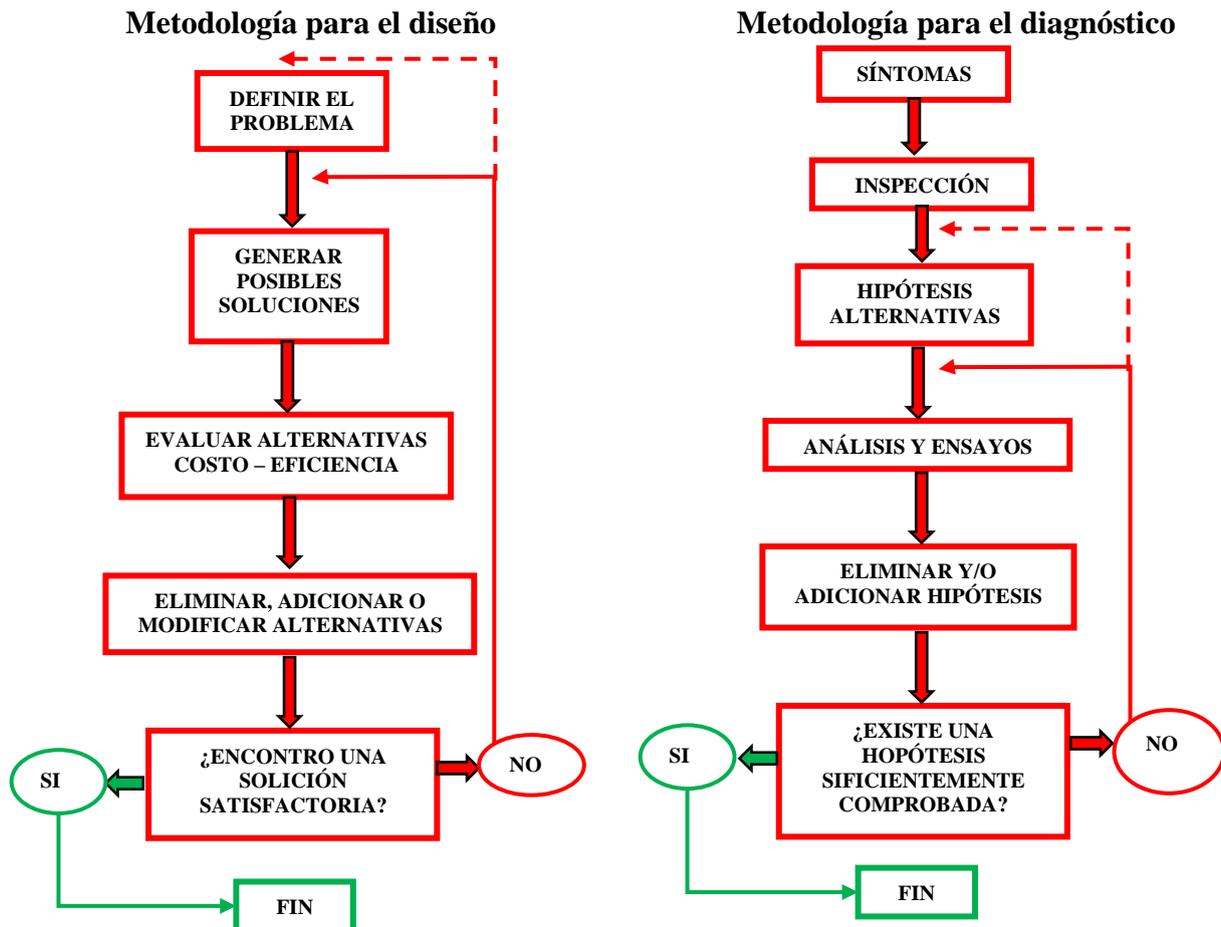


Figura 1

La mencionada interacción entre los distintos subsistemas hace que debamos contemplar, por ejemplo, la posibilidad que una deficiencia en la estructura, el suelo, o la fundación, pueden deteriorar los cerramientos y ambos alterar el comportamiento de las instalaciones, las que, a su vez, pueden incidir en su correcto funcionamiento.

En la figura 2 se muestra el caso de la falla de la mampostería exterior de un edificio como consecuencia de la deformación diferida del hormigón que compone las columnas de su

estructura. La interacción que se generó por el típico comportamiento reológico del hormigón, que tiende a contraerse en el tiempo, aún a carga constante, sumada las diferentes tensiones, y consecuentemente deformaciones, a las que se ven sometidas los tabiques y las columnas enmarcando una mampostería muy rígida, generó la falla.

Ambos subsistemas, analizados aisladamente eran funcionalmente aceptables, la falla de la pared de mampostería se origina en la incompatibilidad para trabajar en conjunto.



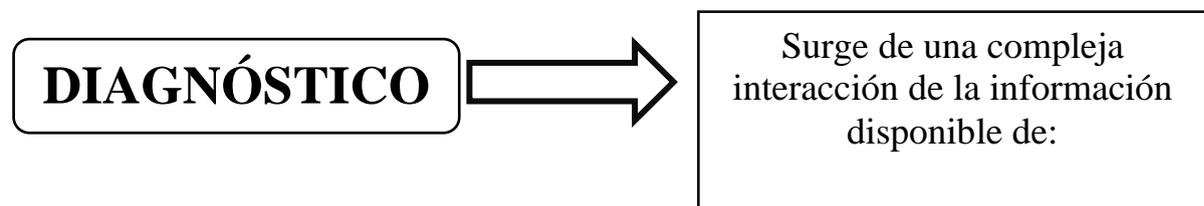
Figura 2

Este concepto de incompatibilidad puede extenderse a distintas situaciones, por ejemplo:

- Deformaciones de cierta magnitud de losas que soportan cerramientos rígidos o solados muy frágiles, desagües pluviales con poca pendiente cuyo desagote se encuentra localizado en la zona menos deformable.

- Fisuración incompatible con las características del hormigón o el tipo de acero en relación al medio ambiente o a los suelos de fundación.

A partir de lo expuesto se propone considerar el siguiente esquema para el diagnóstico, teniendo en cuenta los aspectos que en general se requiere desarrollar.



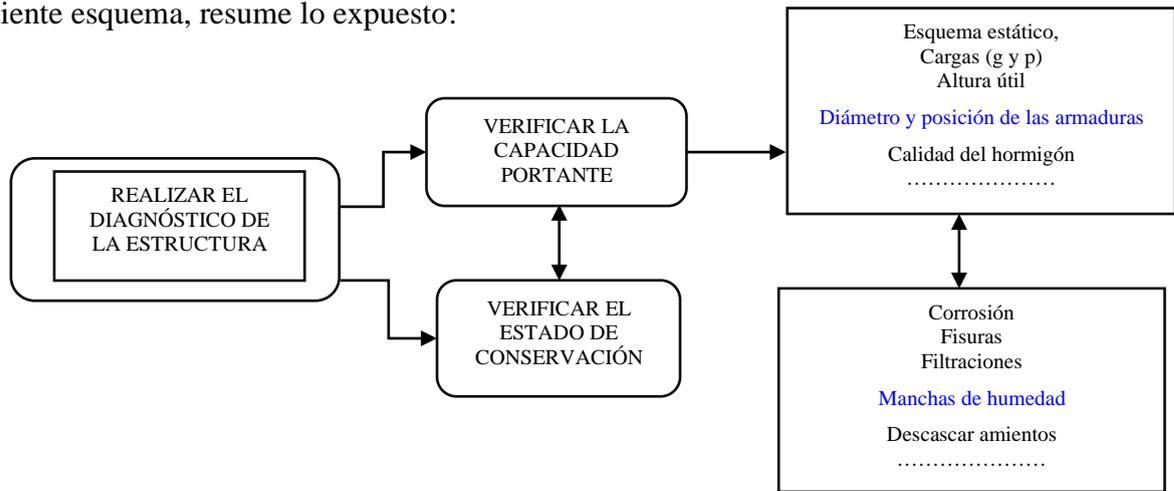
- **ESTRUCRUTA:** Esquema estático, cargas, capacidades portante, ...
- **MEDIO AMBIENTE:** Agresividad del medio, lluvias, ...
- **CONDICIONES DE SERVICIO:** Cargas actuantes, deformaciones, fisuración, ...
- **INSPECCIÓN VISUAL:** Fisuras, manchado de óxido, filtraciones, ...
- **ENSAYOS IN-SITU y/o de LABORATORIO:** Detección de armaduras, pruebas de carga, evaluación de la calidad de materiales, ...
- **CÁLCULOS Y VERIFICACIONES:** Capacidad portante, flechas, ...

Aún dentro de cada una de las áreas en que suele subdividirse una construcción, por ejemplo, la estructura, deberemos según el caso, coordinar la intervención de especialistas como ser, en diseño estructural, comportamiento del hormigón, corrosión de armaduras, mecánica del suelo, etc.

Entre otras cosas esto es así porque para un determinado medio ambiente, la calidad del

diseño y construcción de una estructura incide en su durabilidad y los deterioros que eventualmente presente, pueden afectar su capacidad portante. A su vez una deficiencia en la capacidad portante puede, por ejemplo, inducir estados de fisuración que favorezcan la degradación de las armaduras y aún del hormigón.

El siguiente esquema, resume lo expuesto:



Es entonces razonable pensar en la necesidad de contar con un profesional que cuente con una formación amplia y un criterio de actuación particular, cuya tarea, equivalente a la del Director de Proyecto cuando se trata de desarrollar una obra nueva, le permita planificar, coordinar y orientar las actividades de los distintos especialistas que pueden actuar en la evaluación de una estructura para que posteriormente, con toda la información recabada, pueda concluir con el diagnóstico acertado.

Por el requisito de su formación amplia, con conocimiento en la variada gama de especialidades que habitualmente intervienen en el estudio de las fallas estructurales, **lo hemos denominado, *Experto en Patología Estructural, (E.P.E.)***, equiparable para una mas clara comprensión de su actuación, a la de un médico clínico que realiza su trabajo diagnóstico apoyado en informes, análisis y estudios particulares de diversos especialistas.

Fig.3

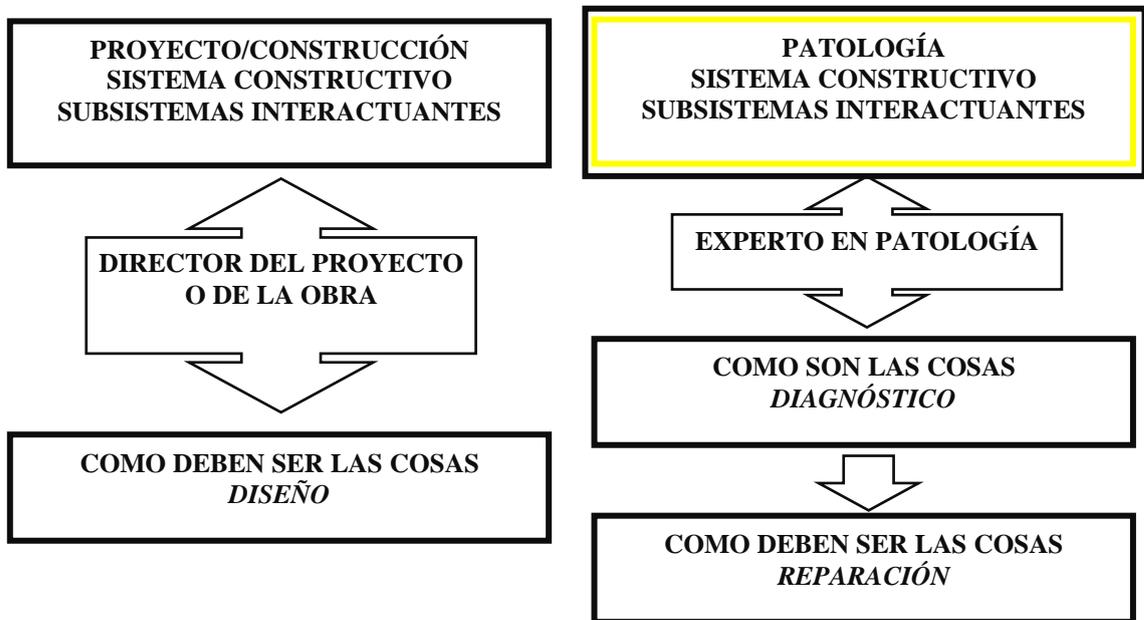


Figura 3

La dirección del estatuto de una estructura con deficiencia y sobre todo las toma de la decisión final la debe realizar un experto en patología estructural (EPE), es decir un profesional con conocimiento integral del funcionamiento estructural, del comportamiento de los materiales y de los aspectos constructivos, asesorado por los especialistas que resulten necesarios.

Es **para facilitar la tarea diagnóstica del ingeniero** que actúa en el análisis de las patologías de las estructuras, que **se ha propuesto** una serie de **pautas generales resumidas en un decálogo**, de manera que le permitan acceder con seguridad a la interpretación de las fallas, recordando que sólo se puede pensar en lograr una reparación estructural adecuada, a partir de la correcta evaluación de las deficiencias que presenta.

2. DECALOGO DE LA PATOLOGIA ESTRUCTURAL

2.1. Discriminar los fenómenos patológicos de los que no lo son

La tarea inicial que debe enfrentar quien actúa en el ámbito de la patología es la de discriminar los fenómenos o manifestaciones que implican deficiencias o fallas de aquellos que se corresponden con un comportamiento normal.

El límite entre el campo de lo deficiente y lo aceptable es habitualmente convencional. La mayoría de las veces se lo establece siguiendo criterios reglamentarios, normativos o aún de algunas recomendaciones. Siendo así habrá que cuidar muy bien que el caso analizado responda a las hipótesis de la norma o reglamento de aplicación.

Así, la resistencia de una sección puede evaluarse a partir de su seguridad frente a la rotura, una fisura en función de los anchos máximos establecidos de acuerdo al medio donde está implantada la estructura, la falta de

verticalidad o las diferencias dimensionales de algún elemento estructural, a las tolerancias máximas acordadas, etc.

En otros casos ese referente no existe y el profesional debe recurrir a su propio criterio para establecer si se trata de un fenómeno patológico o no, a veces con la ayuda de normas o recomendaciones de otros países, tal el caso de las flechas máximas, asentamientos y/o deformaciones angulares, oscilaciones, pautas de confort, etc., que no siempre se encuentran reglamentadas.

Otras veces la realidad se encarga de demostrarnos que estamos en el campo de lo patológico y es cuando se presentan roturas, derrumbes, o deformaciones que impiden el normal funcionamiento de los equipos o de las instalaciones existentes.

EJEMPLO EN ANEXO 1

Los síntomas y signos con que se expresa un fenómeno patológico son solamente la forma bajo la que se presenta la deficiencia

Las manifestaciones que presenta la estructura analizada, por ejemplo, fisuras, vibraciones, manchas, descascaramientos, etc. constituyen la forma que esta tiene de “expresarse”, y no deben interpretarse en sí mismas como un hecho patológico ni actuar sobre el síntoma, sin tener claro que es lo que lo genera.

Esta falta de discriminación puede conducirnos a cometer graves errores, como sería el de actuar sobre el síntoma, vale decir sobre “la forma”, sin resolver el problema de fondo que la origina.

Un caso típico lo constituye el sellado de fisuras sin conocer la/las causas que las originaron. Es de imaginar la ineficiencia de la solución cuando las fisuras están originadas por fenómenos de corrosión, falta de armaduras, brazo elástico insuficiente, etc.

Esto no invalida que, en otras ocasiones, conociendo el origen de la manifestación, pueda constituirse en una alternativa válida, tal el caso del sellado de las fisuras cuando están originadas por la contracción plástica del hormigón.

EJEMPLO EN ANEXO 2

El experto en patología tiene que entender los mensajes de la estructura al observar un síntoma por lo que deberá contar con sensibilidad y capacidad de percepción.

La factibilidad de entender un fenómeno patológico se basa en la capacidad de interpretar que acción o hecho pudo generar una determinada repuesta, **tanto de la estructura, como de la obra en general**, teniendo en cuenta todas las características de la construcción.

Así, por ejemplo, frente a un cuadro de fisuras paralelas a la dirección de las barras que aparecen a edad temprana, el posible mensaje sería: “hay un exceso de exudación”, en cambio si aparecen luego de algunos años podría ser “hay un proceso de corrosión en las armaduras”.

Los descascamientos, los cambios de color, el grado de carbonatación del hormigón, la presencia de óxido ferroso o férrico en las barras, etc., nos permitirán evaluar el grado de

avance, las zonas más o menos afectadas, etc.

Esta información puede surgir de la observación directa de un fenómeno, tal el caso de los descascamientos y la decoloración. En otros casos es posible que deba recurrirse a la extracción de muestras del hormigón o de las barras de acero, realizar pruebas con fenolftaleína para la determinación de la profundidad de la carbonatación o la utilización de equipamiento de ultrasonido para detectar zonas fisuradas.

Puede que sea necesario conocer el comportamiento temporal de alguna manifestación y deba recurrirse a distinto tipo de instrumental con seguimiento periódico de información.

Todos estos recursos se utilizan para ampliar nuestra capacidad natural de percepción.

EJEMPLO EN ANEXO 3

La calidad de la percepción tiene que ver con el conocimiento previo. Un mayor conocimiento general permite un mejor nivel de comprensión global.

Como quedó establecido al comienzo, interpretar un comportamiento patológico implica actuar sobre un sistema constructivo compuesto por subsistemas interactivos.

Cuando se alcanza un buen nivel de percepción, las manifestaciones patológicas resultan un lenguaje claro y ordenado.

Si pretendemos que la evaluación de un fenómeno nos posibilite entender e interpretar la lógica de los contenidos que se perciben, tendremos que conocer los complejos modelos del comportamiento de los materiales (acero, hormigón, suelos, albañilería, etc.), los que a su vez pueden interactuar entre sí, como ser:

Hormigón - acero - medio ambiente

Suelo - estructura - albañilería

También se debe conocer el comportamiento de las estructuras y las técnicas y procesos constructivos que permiten materializar una obra, ya que pueden constituirse en el origen de muchas deficiencias.

Como ejemplo, el caso de una estructura asentada en un suelo que sufre un inesperado ascenso de la capa freática.

Posiblemente la construcción presentará asentamientos, se fisurarán las paredes, se dificultará el funcionamiento de las carpinterías, pudiendo llegar a romperse las cañerías de desagüe enterradas.

La pérdida de líquidos, ahora continua, provocará nuevos asentamientos, desplomes, roturas de vidrios y la fisuración de otros elementos frágiles (paredes, yesería, elementos estructurales débilmente armados, etc.),

seguramente más roturas de cañerías y nuevas pérdidas y filtraciones.

Como vemos en este caso hubo un hecho, ascenso inesperado de la napa, que actuó como “disparador” del proceso de deterioro.

Frente a esto, el edificio bien podía asentarse y permanecer en su nueva “posición de equilibrio”, con o sin daño sobre la construcción, o amplificar el fenómeno,

apartándose cada vez más de la situación inicial.

Estos fenómenos, particularmente peligrosos, son vulgarmente conocidos como círculos viciosos, siendo los casos simples más claramente identificables con ellos, los procesos de corrosión y los ciclos de congelación y deshielo.

EJEMPLO EN ANEXO 4

La instrumentación, los cálculos, los ensayos, etc., sólo son procedimientos auxiliares para poder interpretar fenómenos no perceptibles por los sentidos.

En el análisis de un fenómeno es necesario conocer y manejar información que se constituirá en los “datos” del problema. En general estos suelen ser las características mecánicas o la composición química de los materiales intervinientes, su posible contaminación, la capacidad portante de la estructura, etc., para lo que habrá que realizar cálculos, ensayos, mediciones, etc. para contar con dicha información

Estas actividades deben entenderse como auxiliares para obtener una determinada información y no constituirse en un fin en sí mismo.

Es oportuno destacar, que si bien una mayor información seguramente colaborará en la

interpretación del fenómeno que enfrentamos, antes de solicitar tal o cual análisis, ensayo, verificación, etc., es necesario plantearse si sus resultados aumentarán, o no, nuestra capacidad de decisión.

Una vez que se ha reconocido que una información es necesaria, habrá que determinar el camino más seguro, sencillo y económico para obtenerla.

La capacidad del profesional de discriminar si una información es o no necesaria y la elección del método para obtenerla y su costo está en relación con su preparación técnica, con la formación ética y su compromiso con la sociedad.

EJEMPLO EN ANEXO 5

El experto en patología estructural debe pensar y razonar a partir de la obra en su conjunto y no circunscribirse a la deficiencia.

Entendida una obra como un sistema constructivo con variables interactuantes, no puede tratarse una deficiencia sino a la luz de las particularidades que vinculan dichas variables.

Esto implica que, frente a una deficiencia, debemos ocuparnos de analizar la obra como un todo, categorizando tanto las variables intervinientes, como la interacción de los distintos subsistemas.

La misma obra realizada con alguna condición particular distinta puede conducir a situaciones patológica diferentes.

Estas variaciones pueden ser por ejemplo las condiciones climáticas en el momento de su ejecución, las características del terreno del lugar de implantación, el tipo de fundación o su nivel de apoyo, las particularidades de los agregados del hormigón, o el sistema de calefacción utilizado.

Basta con pensar la distinta incidencia que puede tener sobre el comportamiento de la estructura un sistema de calefacción por losa radiante a otro de inyección por aire caliente, o en un cuadro de fisuras de vigas exteriores, la

orientación de la construcción, los vientos predominantes o el recubrimiento de las armaduras.

EJEMPLO EN ANEXO 6

La etapa de análisis debe permitir responder a todas las preguntas que puedan plantearse.

Supongamos que queremos evaluar un cuadro de fisuración de una estructura de hormigón armado.

De hecho, la aparición de este fenómeno implica que por alguna razón, que debemos encontrar, la tensión de tracción del hormigón alcanzó su valor de rotura, a partir del momento de que fue volcado como material fresco.

El estado tensional pudo haber estado generado por factores externos (cargas, asentamientos de los moldes, etc.) o internos (movimientos generados dentro del hormigón, algún gradiente térmico, o por la presencia del acero.)

Hay autores que sostienen que un 60% de las fisuras están originadas por una remoción prematura de los encofrados y/o un mal curado, y este porcentaje aumenta aún más, si

tenemos en cuenta los movimientos de dichos encofrados y la consolidación plástica del hormigón.

Esto equivaldría pensar que el grueso de dichas situaciones se produce en las primeras épocas, donde el hormigón con escasa maduración tiene aún baja resistencia.

En estos casos la respuesta a cuándo se produjeron las fisuras, nos abre una primera propuesta de análisis, que podríamos extender a otros interrogantes, por ejemplo: ¿cómo está armada la pieza?, ¿por qué aparecen en un lado de la construcción y en otro no?, ¿por qué se visualizan cuando hay bajas temperaturas?.

Las respuestas a estas preguntas nos deberían permitir determinar las variables que actúan sobre el fenómeno y sus coeficientes de incidencia en una ecuación imaginaria que lo represente.

EJEMPLO EN ANEXO 7

La convergencia de las respuestas a las distintas preguntas planteadas debe servir para desechar hipótesis falsas.

Es común que una deficiencia sea producto de un pequeño número de hechos principales, y manifestaciones que parecen ser nuevas y complejas sean en definitiva, una simultaneidad de ellos con distinto grado de intensidad.

Por esa razón, hay que asegurarse de que las respuestas que vayamos encontrando corroboren las variables intervinientes y su grado de participación.

Por ejemplo, una fisura por contracción por secado, variación de temperatura, tracción por

cargas exteriores o asentamientos, debe responder en todos los casos afirmativamente a la existencia de restricciones al movimiento, ya sean estas externas o internas.

La existencia de cargas significativas, el comportamiento de elementos en su cercanía o la respuesta de la estructura frente a las variaciones térmicas, (se abren si disminuye la temperatura y se cierran si aumenta), nos permitirán descartar interpretaciones erróneas del fenómeno analizado.

EJEMPLO EN ANEXO 8

La síntesis final debe conducir a desentrañar el principio y la causa de una patología, para lo cual habrá que rearmar la génesis de las cosas y reproducir los pasos que la condujeron a un determinado estado

La comprensión cabal del problema implica conocer cuál era la situación inicial de la construcción, determinar el/los factores desencadenantes que la modificaron, e interpretar los procesos ambientales, físicos o químicos, a través de los cuales se llega a la falla, entendida en su acepción más genérica (roturas, deformaciones excesivas, pérdida de funcionalidad, etc.).

El agente disparador del proceso pudo haber actuado desde el inicio por ejemplo debido a la incorporación de cloruros en la masa del hormigón, a la insuficiencia de armaduras, por la existencia de suelos expansivos, o bien, aparecer en el transcurso de su utilización por

ejemplo por pérdidas de agua en las instalaciones, sobrecargas excesivas, corrosión de las armaduras, etc.

La interpretación de la secuencia que la condujeron al estado que presenta la estructura en el momento de su análisis, completan nuestra necesidad de comprensión del fenómeno.

Vale como ejemplo la corrosión de armaduras, interpretada a través de los procesos electroquímicos que la generan y las posteriores consecuencias de carácter físico y químico que terminan por destruir un elemento de hormigón armado.

EJEMPLO EN ANEXO 9

La observación y la reflexión del Experto en Patología Estructural deben ser similares a la de un filósofo, en cuanto tiene que unir lo visible y lo manifiesto para establecer el origen de un fenómeno, ubicándose siempre en el punto de vista de la totalidad.

Sólo desde esa perspectiva totalizadora, percibiendo y reflexionando sobre todos los “mensajes” que transmite la estructura y los demás componentes de la construcción a través de sus respuestas a las distintas acciones que se ejercen sobre ella, se puede diagnosticar con precisión.

En consideración al hecho que en general hay más de una causa que origina un mismo

síntoma, es necesario analizar todas las variables e incidencias, jerarquizar y ordenar los síntomas, diferenciar las deficiencias.

Esto requiere actuar con la capacidad de reflexión del filósofo que más allá de la del técnico, que sabe cómo hacer las cosas, y la del científico que comprende porqué ocurren, puede desde la totalidad, dar respuesta al porqué de los porqué.

ANEXOS

Anexo 1

Evaluación del estado de las tribunas de un estadio deportivo

Se trata de un estadio compuesto por tribunas de distintas características. Un lateral que cuenta con dos niveles de acceso para el público, construido con pórticos y graderías de hormigón armado, Figuras 1a y b.

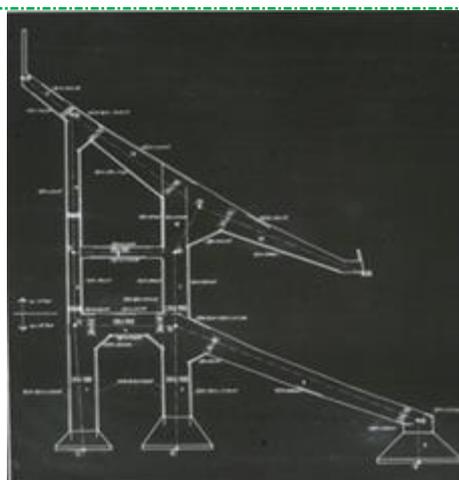


Figura 1a



Figura 1b

El otro lateral, cuenta con un solo nivel, y está construido con estructura metálica reticulada y gradas de madera Figuras 1c y d



Figura 1c



Figura 1d

El estudio solicitado se fundamentaba en la preocupación que generaba los movimientos que se producían en ambas tribunas cuando el público saltaba sobre ellas. En el caso de la estructura de hormigón, en la bandeja alta.

El análisis comprendió la evaluación de la documentación constructiva, su convalidación con relevamientos en el lugar y verificaciones estructurales, de los que se concluyó:

- a) Para el caso de la tribuna de hormigón, que los movimientos oscilatorios verticales eran perfectamente aceptables y entendibles dada la magnitud de la luz de la ménsula. No constituían riesgo alguno ni afectaban el confort de los asistentes de manera que se lo descartó como situación patológica.

b) En el caso de la tribuna metálica, los movimientos percibidos eran preponderantemente longitudinales debido al mal estado de las cruces de rigidez, típicas de este tipo de construcción, que la ponían en riesgo de colapso, por lo que se recomendó la inhabilitación al uso hasta su reparación.

Independientemente de los aspectos mencionados, motivo de la consulta, se recomendaron acciones relacionadas con la conservación de la estructura de hormigón, con gradas y pórticos afectados por corrosión y en el caso de la estructura metálica, la reposición de gradas de madera en mal estado.

Anexo 2

Los síntomas y signos con que se expresa un fenómeno patológico deben permitir identificar la deficiencia.

Se presenta el caso del patio cubierto de una escuela, en este caso ya reparado, con columnas circulares exclusivamente en el perímetro, que comenzó a manifestar en la cubierta problemas de acumulación de agua, como consecuencia de contrapendientes que se formaban en los desagües (Figura 2a). Sin analizar las causas que originaban el problema, se procedió a adicionar espesores de sobre pisos y carpetas de sellado para corregir la deficiencia, es decir actuar sobre el síntoma sin resolver el problema de fondo.

Como al poco tiempo de corregidas los contrapendientes el problema reaparecía, en realidad agravado por el agregado de mayores cargas, el propietario decidió encargar un estudio integral del sector.

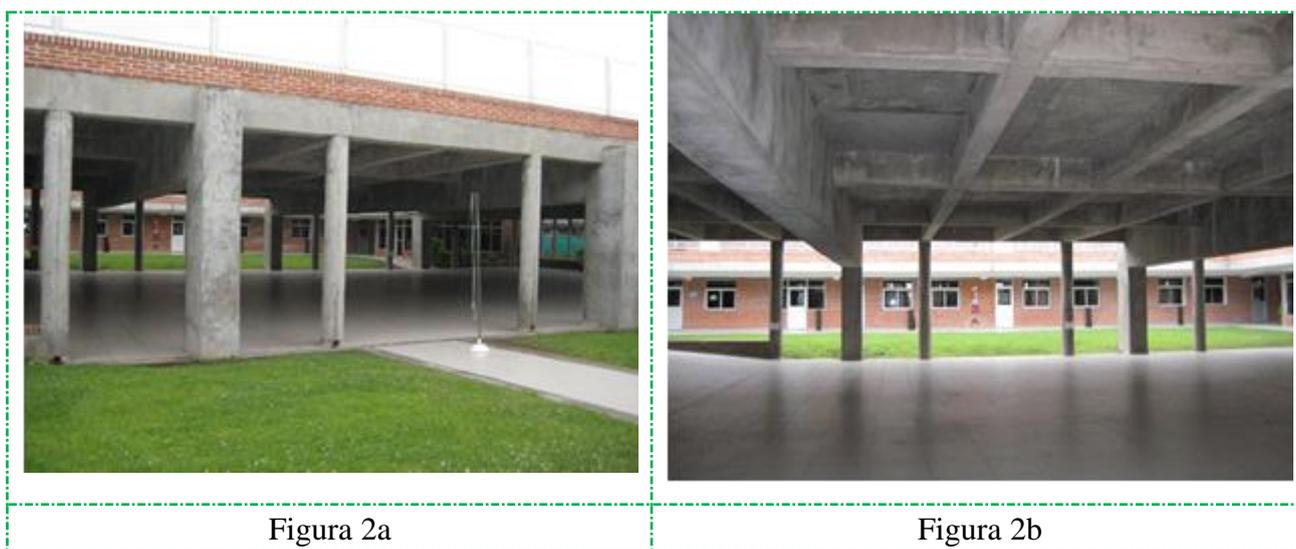


Figura 2a

Figura 2b

La conclusión fue que la estructura del entepiso, un emparillado con viga de escasa altura resultaba elásticamente muy deformable, la que resultaba aún mayor al considerar la deformación diferida.

El conocimiento del problema real de la estructura, permitió resolverlo actuando sobre la causa que lo generaba, con el agregado de pórticos transversales con columnas cuadradas y vigas de mayor altura que el envigado existente, tal como se aprecia en la Figuras 2a y 2b, que le conferían mayor rigidez y consecuentemente menor deformación

En este caso afortunadamente se pudo llegar a un diagnóstico cierto y reparar la estructura antes que posiblemente colapse como consecuencia de los reiterados incrementos de carga que se habían realizado para corregir los contrapendientes que impedían el desagote de las aguas de lluvia.

El caso siguiente, Figuras 2c y 2d, muestran una escalera que presentaba fisuras en los laterales y en su cara inferior, que no fueron consideradas a tiempo y terminaron con su rotura, ya que la manifestación eran consecuencia de una deficiente colocación de sus armaduras en el quiebre del descanso.



Figura 2c

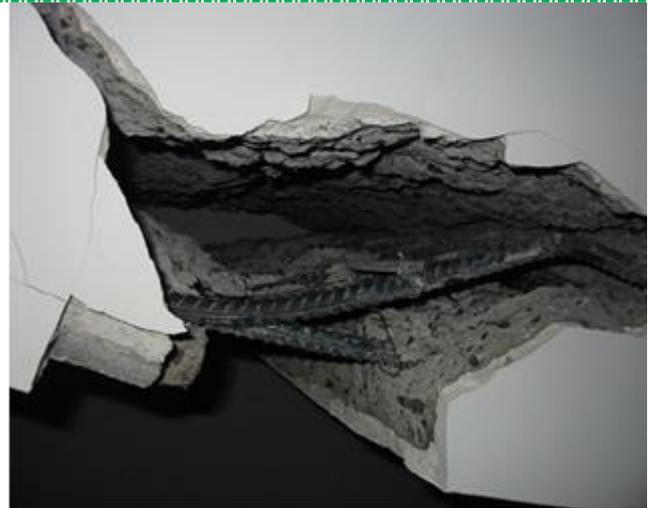


Figura 2d

Anexo 3

Manifestaciones que permiten inferir posibles deterioros con serias consecuencias para la estructura

En la Fig. 3a se visualizan en un balcón existente en voladizo, fisuras transversales a la dirección de la sollicitación principal de flexión, humedades, contrapendiente al desagüe y vegetación creciendo en las aberturas del solado.

Estas manifestaciones son claramente situaciones propicias para la falla, particularmente la fisura transversal que estría indicando un sobreesfuerzo en las armaduras, pero a su vez la posible presencia de un proceso de corrosión de las armaduras Figura 3b (La existencia de vegetación en la junta indica la existencia de humedad y oxígeno, condiciones propicias para la corrosión del acero). La pérdida de sección de las escasas armaduras existentes y consecuentemente la progresiva disminución de la capacidad portante, concluyeron en el colapso del voladizo, situación que se presentó en uno de los balcones del séptimo piso Figura 3c, generando el colapso en cascada de todos los balcones de los pisos inferiores. Figuras 3d y 3e



Figura 3a



Figura 3b



Figura 3c



Figura 3d



Figura 3e

Una inspección, aun solamente visual, bien realizada, con una lectura cuidadosa de las manifestaciones del balcón, probablemente hubieran permitido inferir la situación de riesgo, la existencia de las armaduras corroídas y con pérdida de sección, determinar su falta de capacidad portante y repararlo, evitando la falla en cadena del elemento estructural.

Anexo 4

Interpretación de fallas que requieren un amplio conocimiento general de la construcción

En las Figuras 4a a 4d, se muestran distintas deficiencias en la planta baja de un edificio en altura, con un subsuelo que ocupaba parcialmente el perímetro de la proyección de la construcción.



Figura 4a



Figura 4b



Figura 4c



Figura 4d

La edificación, implantada en la zona riverenseña, comenzó a manifestar las fallas que se visualizan luego de varios años de habilitada la construcción, asentamientos en paredes Fig.4a, y escaleras apoyadas sobre el terreno Fig. 4b, fisuras en los pisos interiores Fig. 4c y exteriores Fig. 4d, las que continuaron ampliándose con posterioridad a un ascenso inesperado de la capa freática.

El descenso del agua a su nivel habitual generó asentamientos en el terreno y el inicio de las manifestaciones señaladas.

La continuidad y el avance de los daños se explican porque el asentamiento generó también la rotura de las cañerías de desagüe enterradas, de manera que la pérdida permanente de líquido seguía generando mayores asentamientos y consecuentemente la continuidad y amplificación de las fallas.

La consolidación de los suelos afectados y la reparación de las cañerías con filtraciones resolvió el problema.

Anexo 5

La instrumentación como recurso de prevención y diagnóstico de deficiencias

La instrumentación puede tener carácter preventivo, con el objeto de evaluar la progresión de algún parámetro de interés. En la Figura 5a se muestra el relevamiento de los asentamientos de los muros de fachada que se realizó sobre el perímetro de una obra de carácter histórico que fue sometida a grandes modificaciones en su interior.

La instrumentación permitió la detección de asentamientos excesivos en una de sus caras, generados por las excavaciones y la depresión de la napa realizada para la construcción de una línea de subterráneo lindera.

La detección temprana del problema permitió su solución, sin daños en los muros a preservar.

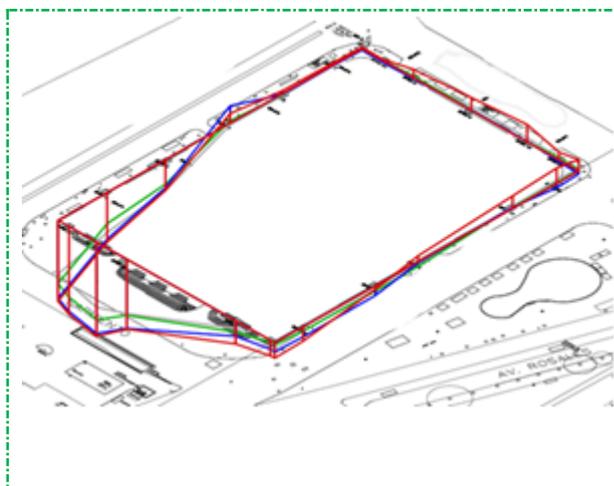


Figura 5a



Figura 5b

Otro caso típico lo constituye el seguimiento del ancho de fisuras Figura 5b, para determinar si constituyen fenómenos estabilizados o progresivos.

Cuando se trata de evaluar estructuras existentes complejas, tanto en relación a su capacidad portante, como a su vida útil, en general es necesario contar con gran cantidad de información y consecuentemente realizar un número importante de estudios de campo y de análisis numéricos, tal el caso del puente de la Figura 5c.

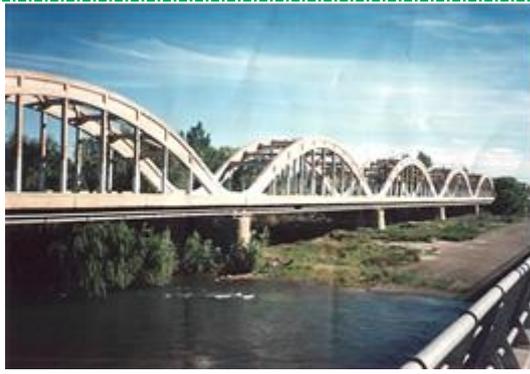


Figura 5c



Figura 5d



Figura 5e



Figura 5f



Figura 5g

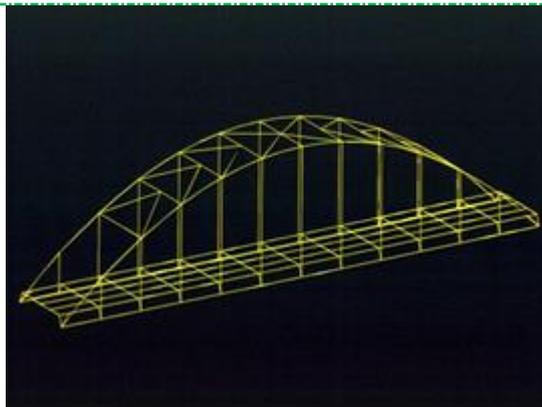


Figura 5h

La aptitud de las fundaciones fue evaluada mediante el empleo de equipos emisores de ondas electromagnéticas montados sobre una pequeña embarcación, Figura 5d, a los efectos de descartar fenómenos de socavación de las pilas de fundación.

La calidad del hormigón fue evaluada mediante la extracción de testigos, Figura 5e, lo que permitió obtener su resistencia característica, determinar la existencia de una eventual contaminación y la profundidad de carbonatación.

La disposición y cantidad de armaduras fue determinada mediante la utilización combinada del pachómetro, el georadar, la gammagrafía y el picado de recubrimientos. La Figura 5f muestra la utilización del georadar.

Como las armaduras del puente presentaban signos de corrosión se determinaron los parámetros para evaluar su implicancia (potencial de corrosión, resistividad, etc.) Figura 5g.

Finalmente, a partir de toda la información obtenida, se pudo realizar un modelo mecánico representativo de uno de los 9 tramos iguales, Figura 5h, se determinaron todas las solicitaciones, se contrastó la capacidad portante de los elementos que lo constituyen y se realizó una estimación de la vida útil remanente.

Anexo 6

Diversas fallas con un origen común y un potenciador de daño

En la Figura 6a, se muestra el interior de una planta industrial dedicada a la elaboración y tratamiento de ácidos con fines comerciales.

Como se aprecia en dicha figura, el establecimiento estaba construido con estructura independiente de hormigón, cerramientos de albañilería y cubierta liviana metálica.



Figura 6a



Figura 6b

Tiempo después de estar la planta en funcionamiento comenzaron a manifestarse daños de consideración, tales como separación de la cubierta de las paredes de cierre, Figura 6b, y gruesas fisuras en dichas paredes, tal como se aprecia desde el exterior Figura 6c y desde el interior, Figura 6d.

Simultáneamente, las columnas de hormigón comenzaron a presentar fisuras, desprendimientos de recubrimientos dejando las armaduras expuestas y con evidentes signos de corrosión.



Figura 6c



Figura 6d



Figura 6e

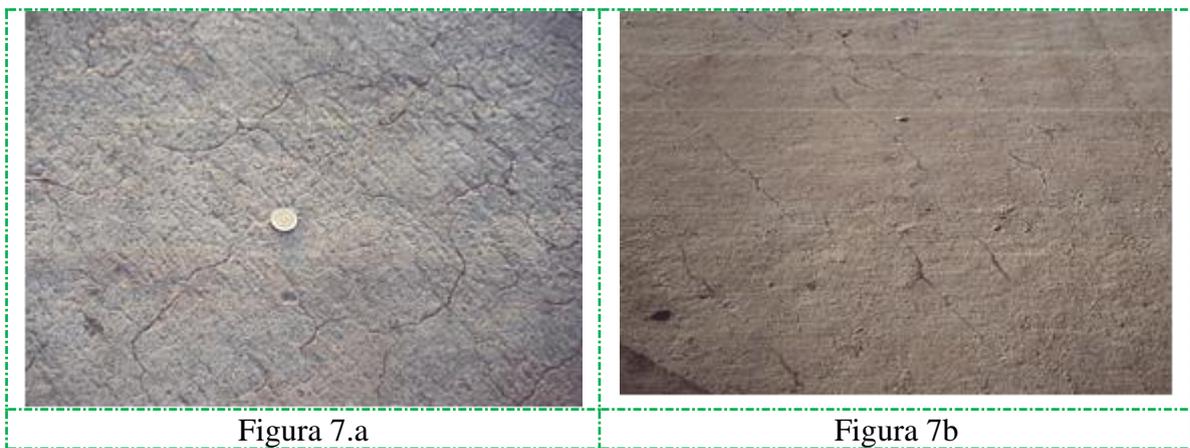
La falla estaba originada en las características del suelo donde se encontraba fundada la estructura, ya que se trataba de arcillas expansivas, potencialmente activas con los cambios de humedad que generaban distintos tipos de asentamientos diferenciales y consecuentemente fisuras de distinta tipología.

A partir de allí, los vapores ácidos productos del proceso industrial, aceleraron la corrosión de las armaduras de los elementos resistentes de la estructura de hormigón, tal el caso de la columna que se muestra en la Fig. 6d. potenciando los daños y la degradación de la estructura.

Anexo 7

Evaluación de un cuadro de fisuración

El cuadro de fisuración de las Figura 7a, y Figura 7b se corresponden con la contracción plástica y un secado prematuro del hormigón. En el primer caso debido a las altas temperaturas en el medio al momento de llenar los moldes, de allí la forma errática de su distribución. En el segundo, debido a la acción del viento predominante en una dirección, de allí su orientación uniforme.



En estos casos, ambos generados por un secado prematuro afectando la escasa resistencia a tracción del hormigón al momento de generarse el fenómeno.



En casos como los presentados, el revibrado si el hormigón aún está sin endurecer o el sellado posterior de las fisuras resuelve el problema y permite evitar situaciones como las que se visualizan en las Figuras 7c y 7d cuando se producen filtraciones de agua

Una situación distinta en cuanto a la viabilidad de resolver el problema de las fisuras mediante un sellado se visualiza en las Figuras 7e y 7f.



Figura 7e



Figura 7f

Se trata de una planta de tratamiento de efluentes, diseñada con muy escasa armadura horizontal, y hormigonada en etapas, primero la losa de fondo con la viga perimetral y posteriormente los tabiques laterales. La deficiencia que presentaba al poco tiempo de retirar los moldes era de fisuras relativamente anchas y muy separadas, que en la etapa de utilización generaría filtraciones inaceptables.

Es clara la diferente posibilidad de contracción por secado y aún por variación de temperatura que presenta el borde inferior y el superior de los tabiques. La losa de fondo con el hormigón endurecido se constituye en un impedimento a la libre contracción del hormigón al comenzar el proceso de endurecimiento, situación que no ocurre en el borde superior.

Mayores cuantías de acero horizontal le hubieran permitido alcanzar la deformación requerida con fisuras mucho más cercanas y pequeñas. En estos casos el sellado que pueda realizarse en general solo representa una solución de muy corto plazo que no resuelve el problema de fondo.

Anexo 8

La convergencia de las respuestas a las distintas preguntas planteadas debe servir para desechar hipótesis falsas

Como ejemplo de lo expresado, mostramos el caso de la deficiencia que se presentó en la cubierta en alero de una tribuna de un campo deportivo.



Figura 8a



Figura 8b

La tribuna fue construida con hormigón armado y el alero, de 21 m de vuelo, con ménsulas de altura variable de hormigón postesado. El conjunto fue diseñado y construido en 3 sectores, separados por una junta de dilatación, tal como se visualiza en la Figura 8a., comenzando la construcción del alero

por el tramo central, siguiendo por el tramo a la derecha y finalmente el izquierdo.

Transcurridos unos 2 años de inaugurada la tribuna, el sector derecho del alero, presento un desplazamiento relativo de unos 4 cm con respecto al tramo central, tal como se visualiza en la Figura 8b.

Se realizaron durante mucho tiempo gran cantidad de estudios, ensayos y verificaciones estructurales, incluida una simulación de falla de alguno de los cables de postesado, sin encontrar respuesta que justificara el comportamiento anómalo de la estructura, con el agravante que poco tiempo después ocurrió lo mismo con el lateral izquierdo con respecto al central, sufrió también un descenso relativo. Luego de muchas hipótesis y análisis descartados, el estudio espacial del conjunto y el repaso del proceso constructivo permitieron dilucidar el problema.

Al construir el lateral derecho, Figura 8a se lo niveló con respecto al central, ya tensado y desapuntalado. Al tensar las ménsulas de dicho sector, el alero tendía a girar levemente hacia el centro, comprimiendo el material de la junta y arrastrando al alero central, sin poder deformar libremente.

La degradación del material de la junta liberó el vínculo entre ambos y cada sector adoptó la posición de equilibrio que le correspondía.

La presunta falla estructural, solo quedó como imagen desalineada de los tres tramos que componen el alerodel alero.

Anexo 9

La síntesis final debe conducir a desentrañar el principio y la causa de una patología

El objetivo principal de un diagnóstico es determinar el origen de la falla observada, a veces originada por situaciones puntuales que no están presentes al momento de los estudios que se realizan.

En las Figuras 9a y 9b, se ve una torre tanque, reservorio de agua cilíndrico para uso industrial de 33m de altura y 150 m³ de capacidad de almacenaje en la cuba superior, de cuyas imágenes se desprende que se encontraba en buenas condiciones de mantenimiento



Figura 9a



Figura 9b

Sin embargo, luego de unos años de utilización comenzaron a manifestarse signos de deterioro, que fueron postergados en su evaluación hasta que se decidió su realización.

Al momento de dicha evaluación el tanque presentaba en aproximadamente la mitad del desarrollo de su perímetro interior y en los 3 primeros metros de altura, fuertes signos de deterioro Figura 9c, que

requirieron una rápida intervención. La cara interior opuesta solo presentaba algunas manifestaciones menores de deterioro.

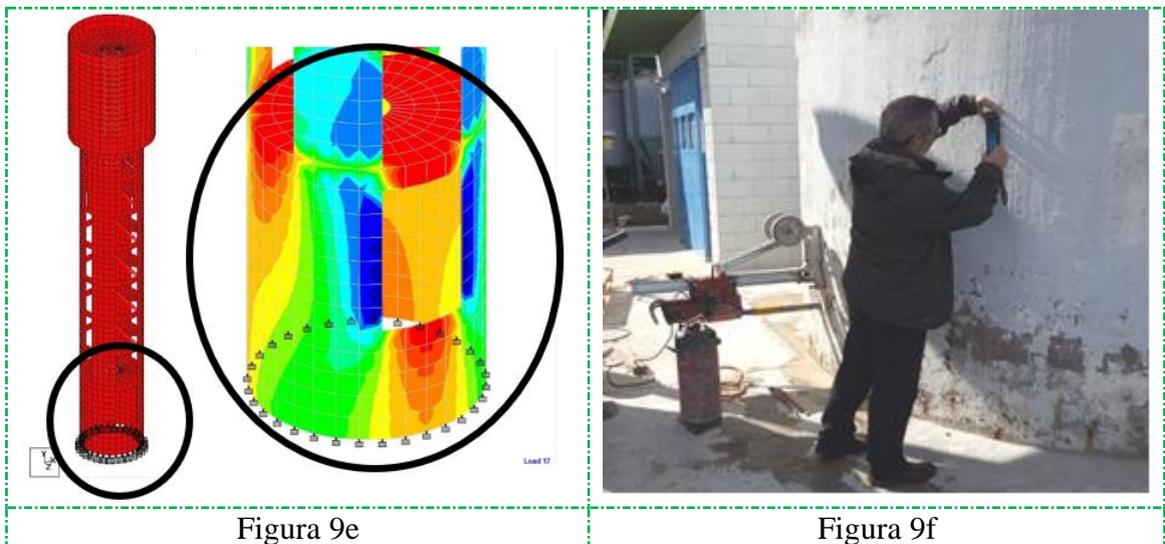
En la Figura 9d se visualiza el lado externo de la cara interior deteriorada, como se ve con daños menores, y la cara exterior opuesta prácticamente no presentaba daños.

Se realizó una primera evaluación del riesgo estructural a través de su modelación en elementos finitos y se emitieron las correspondientes recomendaciones de uso, que contemplaban, entre otras, una drástica reducción de la acumulación de agua en la cuba, imprescindible para la operación de la planta industrial Figura 9e.



De los estudios realizados, extracción de testigos, composición del hormigón, contenido de cloruros, carbonatación, resistencia mecánica, en varios sectores de la base del tanque, así como la determinación de los parámetros típicos de la corrosión.

Se encontró una fuerte contaminación con cloruros, localizada casi exclusivamente en la zona afectada. Figura 9f, motivo de la degradación que presentaban las armaduras en la parte inferior de la cara interior del cilindro



Como conclusión de los estudios realizados se determinó que el origen de la contaminación local en el sector afectado se correspondía con salpicaduras de las periódicas acumulaciones de bateas con agua salobre que se acopiaban en la zona afectada y que era empleada para ablandar el agua para un adecuado uso industrial.

Considerando que el resto de la torre tanque se encontraba en buenas condiciones resistentes y sin afectaciones a la durabilidad, la reparación proyectada solo contempló el saneado y refuerzo del anillo inferior.