

Fallas y defectos en estructuras colombianas

Failures and defects in colombian structures

RICARDO ANDRÉS SAAVEDRA GUZMÁN¹ - PEDRO NEL QUIROGA SAAVEDRA²

1. Magíster en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Profesor del programa de Ingeniería Civil y la maestría en Ingeniería Civil.

ricardo.saavedra@mail.escuelaing.edu.co - pedro.quiroga@escuelaing.edu.co

Recibido: 22/06/2019 Aceptado: 30/06/2019

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista

<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

La patología estructural es una disciplina profesional que tiene como propósito investigar las fallas y los defectos que aquejan a las estructuras, determinar sus causas reales y proponer alternativas de solución. Aunque hay numerosos textos y publicaciones de patología estructural, la mayoría de éstos provienen de países que tienen condiciones, sistemas y métodos constructivos diferentes; por lo tanto, no necesariamente los ejemplos expuestos en esta bibliografía se asemejan a los casos diarios que suceden en Colombia.

Palabras claves: patología estructural, fallas y defectos de estructuras.

Abstract

Structural pathology is a professional discipline whose purpose is to look into failures and defects that structures experience, to determine their actual causes, and to propose alternatives for solutions.

Although there are several texts and publications on structural pathology, most of them come from countries with different building systems, conditions, and methods; therefore, not all the examples in this bibliography are necessarily similar to the cases found in Colombia.

Keywords: structural pathology, structural failures and defects.

INTRODUCCIÓN

Los daños, defectos y demás manifestaciones físico-químicas que pueden aquejar una estructura son investigados por la patología estructural, rama de la ingeniería civil que en los últimos años ha ganado mayor interés, en parte por la necesidad de actualizar las edificaciones al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, ya que en el desarrollo de esta actividad se han encontrado fallas y deficiencias que han requerido un estudio más profundo de sus causas.

Existen muchos textos y publicaciones que presentan casos de fallas en construcciones. Sin embargo, la información proviene de otros países y los ejemplos o casos de estudio de dicha bibliografía no necesariamente se ajustan a la formación profesional, los materiales, los procesos constructivos, la práctica profesional y los agentes atmosféricos del país.

FALLAS Y DEFECTOS EN ESTRUCTURAS COLOMBIANAS

Las fallas o defectos son manifestaciones químicas y físicas que afectan a las estructuras o un elemento que forma parte de ellas. Se pueden originar en cualquiera de las fases de la obra civil, ya sea desde sus inicios por errores en la planeación y el diseño, por falencias durante la etapa constructiva o defectos en los materiales, así como el uso y mantenimiento de las estructuras.

El porcentaje en el que se originan las fallas y defectos difiere de acuerdo con las etapas de la obra civil. Estos porcentajes pueden variar dependiendo del autor e incluso del país, pero la gran mayoría coincide en que el mayor número de patologías se generan en la etapa de diseño.

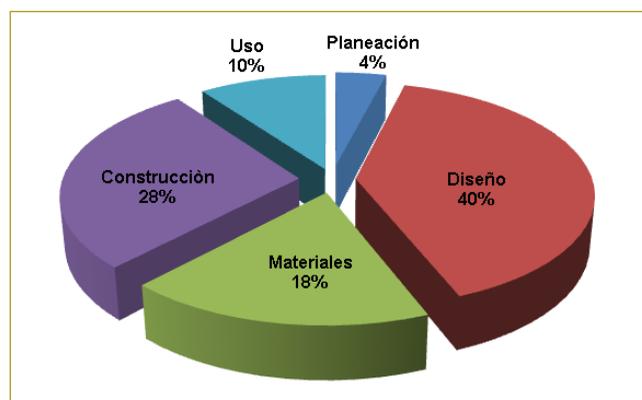


Figura 1. Origen de los problemas patológicos en relación con las etapas de las obras civiles (Helene, 2015).

Según Broto (2005) y Helene (2015), la patología estructural es la ciencia que se encarga de estudiar el origen de las causas de las fallas y defectos de las estructuras, brindar un tratamiento y recuperar el nivel de servicio original y de seguridad de éstas.

Un adecuado estudio patológico es aquel que aclara por completo la secuencia temporal de la falla o defecto, define los síntomas, plantea el proceso de evolución y establece su origen o causa.

Tipos de fallas y defectos de las estructuras

Para Broto (2005), las fallas o defectos son el resultado final de un proceso patológico de la estructura; la identificación apropiada del tipo de falla permitirá plantear una adecuada solución. En una estructura, pueden existir fallas que se originaron a partir de otras; por lo tanto, una primera distinción son las fallas primarias y secundarias, y estas últimas son una consecuencia de las primeras.

En general, las fallas o defectos pueden agruparse en tres grandes familias, dependiendo del tipo de acción que las provoca y de la evolución del proceso:

• Fallas por procesos mecánicos

Corresponden a los daños generados por acción de un esfuerzo mecánico, que generan desplazamientos, movimientos, roturas, separaciones y desgaste; están relacionadas con la función de soporte o de resistencia ante cargas que cumple el elemento o la estructura. Dentro de esta familia se pueden distinguir:

- Deformaciones.
- Grietas y fisuras.
- Desprendimientos.
- Erosiones mecánicas.

• Fallas por procesos físicos

Estas fallas son originadas por la acción de factores meteorológicos (heladas, condensación de partículas del ambiente, viento, entre otros) sobre elementos estructurales y no estructurales que generalmente están localizados en el exterior de las estructuras. Estos procesos causan cambios, sobre todo en el tamaño y

aparición de los elementos, sin involucrar un cambio químico de los materiales que los constituyen; en este tipo se pueden diferenciar:

- Humedad (de obra, capilar, de filtración, de condensación y accidental).
- Erosión.
- Suciedad (por depósito y por lavado).

• Fallas por procesos químicos y biológicos

Estas fallas son originadas por agentes externos que atacan la composición de los materiales generando alteraciones de carácter químico y biológico en el elemento, se pueden diferenciar cuatro subgrupos:

- Eflorescencias.
- Corrosión.
- Erosión química.
- Biológicos (animales y vegetales).

Metodologías de exploración, evaluación y diagnóstico de estructuras

Las metodologías de exploración, evaluación y diagnóstico de estructuras están encaminadas a definir un procedimiento, ya sea de reparación, rehabilitación o reforzamiento de una estructura, con el fin de garantizar el estado inicial de seguridad y funcionalidad.

La clave de toda metodología es identificar adecuadamente el origen de la falla que habita en las estructuras, de lo cual depende la eficacia de los procedimientos definidos para subsanarlas; sin embargo, todo empieza con una adecuada recopilación de información y de unas acciones apropiadamente definidas, encaminadas para su exploración.

A continuación se hace referencia a una serie de metodologías, pautas y protocolos de varios autores para los estudios patológicos de las edificaciones, las cuales brindan una secuencia organizada para llevar a cabo este tipo de estudios y se pueden emplear en la mayoría de las estructuras.

Paulo Helene indica “que el diagnóstico adecuado y completo es aquel que esclarece todos los aspectos del problema”, entre los cuales están los síntomas, el mecanismo, el origen, las causas, las consecuencias, la terapia y el procedimiento.

En su *Manual de patología de la edificación*, López, Rodríguez, Santa Cruz, Torreño y Úbeda establecen un paralelo entre la actuación de un médico respecto de la aparición de una enfermedad o patología en el ser humano y las actuaciones que debe efectuar el patólogo de la edificación cuando se presenta una patología o lesión en una estructura, dividiendo la metodología en cinco fases: estudio, dictamen, decisión, ejecución y comprobación.

Para Juan Monjo, “un estudio patológico es un análisis, el cual tiene que seguir una línea inversa al proceso, yendo del efecto a la causa; dicho análisis debe ser metódico y exhaustivo, como si se tratara de una investigación criminal”; de acuerdo con lo anterior, plantea cuatro etapas para llevar a cabo el análisis: observación de los daños, toma de datos, análisis del proceso y propuesta de actuación.

Carles Broto, por su parte, en su *Enciclopedia Broto de patologías de la construcción* recomienda que el análisis del estudio de patología sea preciso; por lo tanto, se debe “**adoptar** un método sistemático de observación y toma de datos y **limitar** las posibles ideas preconcebidas, es decir, contener la intuición profesional”. Para el autor se deben analizar la capacidad resistente, la integridad, la forma y el aspecto de la estructura, para lo cual propone las siguientes fases: observación, toma de datos, inspecciones técnicas, análisis del proceso (determinando causas, diagnóstico, evolución y seguimiento) y actuación.

A diferencia de los otros autores, Muñoz plantea que no resulta fácil definir una metodología para la evaluación y diagnóstico de una estructura; de igual manera, indica que tampoco es fácil señalar una sola interpretación para un tipo de deterioro, por lo que brinda algunos criterios respecto al tipo de inspección: la investigación documental, la metodología del levantamiento gráfico de patologías, el recuento fotográfico, la planeación y definición de ensayos, el diagnóstico de patologías, la descripción del sistema estructural y la elaboración del informe de la inspección detallada, los cuales apoyan la labor de diagnóstico con el fin de lograr una mejor interpretación de los daños que se manifiestan en una edificación.

Díaz, a su vez, en su trabajo de grado indica que “es necesario unificar criterios para orientar la práctica de los especialistas de la patología de la construcción en Colombia”. Por lo tanto, muestra una secuencia de

actuación en los estudios de patología de la construcción en edificaciones de concreto reforzado de mediana altura, y la divide en dos fases: la primera, investigación preliminar, que su vez se divide en documentación (información general), observación de campo (detección e identificación de lesiones), toma de datos, informe preliminar y la segunda fase denominada investigación detallada que se discrimina en documentación (informa-

ción del diseño y construcción), observación de campo (verificación de construcción), muestreo y material de prueba, evaluación e informe final.

A partir de los planteamientos de estos autores y de la experiencia propia se presenta una propuesta de metodología, la cual se resume en el siguiente esquema (figura 2).

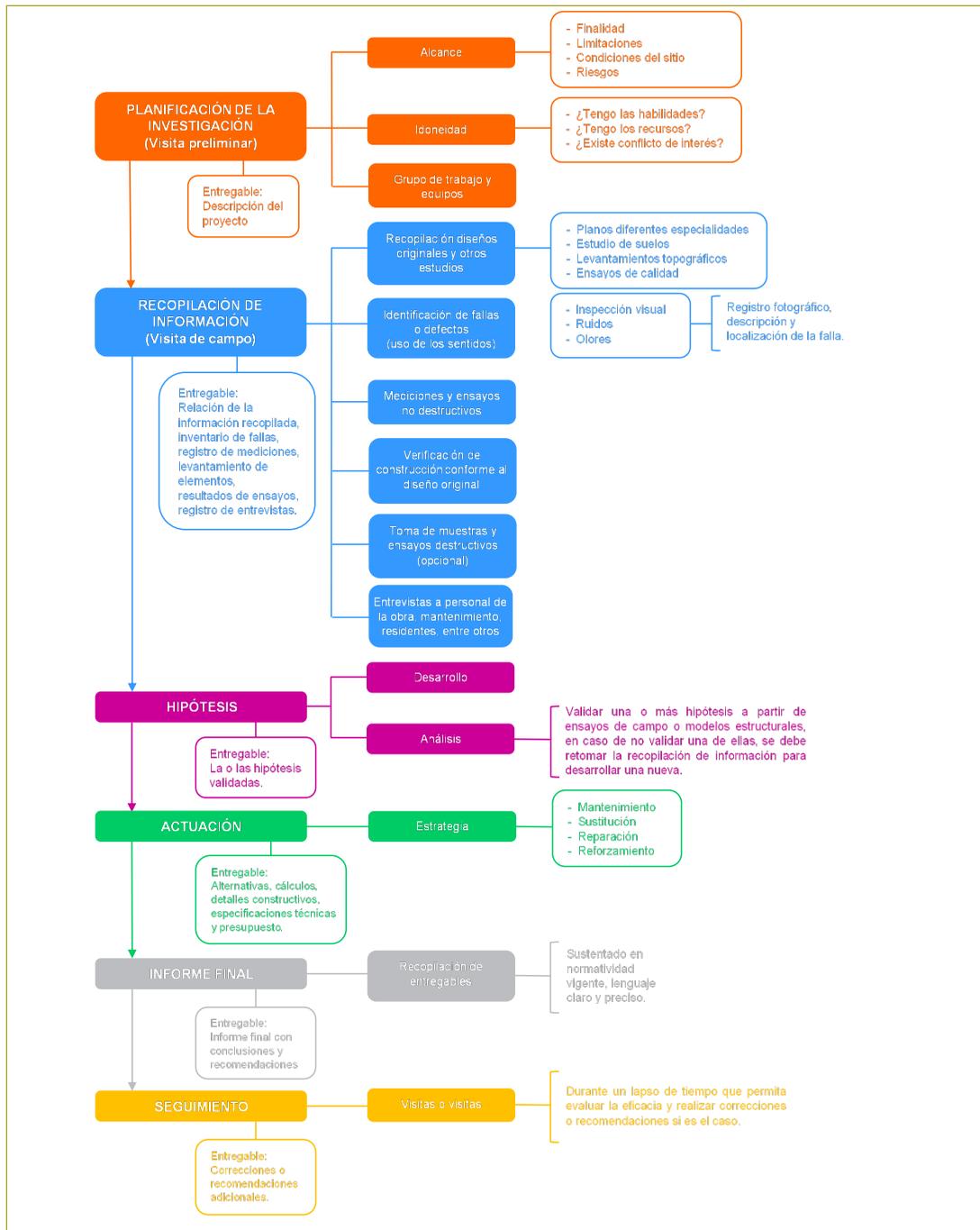


Figura 2. Propuesta de metodología de exploración, evaluación y diagnóstico de estructuras.

CASOS COLOMBIANOS DE FALLAS Y DEFECTOS DE ESTRUCTURAS

En el desarrollo del análisis de algunas causas y defectos de casos colombianos, se incluyó una serie de casos relacionados con diferentes tipos de estructuras, mampostería, concreto reforzado y metálicas, abarcando patologías que se suscitaron en cada etapa del proyecto constructivo.

La selección de los casos se hizo a criterio del autor, de tal modo que se mostrara una variedad de fallas y defectos, teniendo como origen la experiencia propia, la colaboración de administradores de propiedad horizontal, ingenieros colegas y fallas o defectos de estructuras localizados en el espacio público.



Figura 3. Origen de los casos.

En la medida de lo posible, a cada caso se le hizo una descripción del proyecto, se identificaron fallas y defectos, se establecieron posibles causas, se plantearon posibles soluciones y se destacaron las enseñanzas.



Figura 4. Etapas de desarrollo de los casos de estudio.

Durante la recopilación de información y el desarrollo de los casos, se encontró una serie de limitaciones relacionadas con información incompleta (por ejemplo, tipo de acero de los perfiles de una de las estructuras). En otros casos, no fue posible revelar el cliente final, dificultando la contextualización de la falla o el defecto; en otras oportunidades, la solución propuesta no se eje-

cutó, lo que impide evaluar su eficacia; en otros casos, la información se convirtió en reserva del sumario, lo cual dificulta su desarrollo.



Figura 5. Limitaciones durante el desarrollo de los casos.

Los casos desarrollados en el proyecto de investigación corresponden al siguiente listado:

- *Remodelación de dormitorios*. Pandeo de elementos de cercha metálica existente
- *Casa del administrador de la casa campestre*. Asentamiento diferencial.
- *Edificio residencial*. Afloramiento de agua en pisos de parqueaderos de sótanos.
- *Brazo pescante*. Falla en prueba de carga.
- *Casa de bombas*. Evaluación estructural por renovación de equipos.
- *Cubierta de marquesina*. Pandeo de vigas en etapa de montaje.
- *Edificio residencial*. Humedad recurrente en la pared.
- *Puente vehicular*. Daños en vigas longitudinales.
- *Edificio de oficinas*. Fisuramiento prematuro de vigas de cubierta.
- *Bodega de almacenamiento liviano*. Rotura de placa de contrapiso.
- *Vía local*. Rugosidad y microfisuración de carpeta asfáltica.
- *Hangar*. Fisuración de placas de piso.
- *Edificio residencial*. Asentamiento diferencial de cubiertas auxiliares.
- *Caseta de acceso*. Fisuración de losa de cubierta.
- *Muelle flotante*. Deflexión excesiva pasarela de acceso.
- *Puente grúa 5 t*. Descarrilamiento constante.
- *Plataforma de puente peatonal de acceso a tanques de combustible*. Deformación de elementos y corrosión de la estructura.

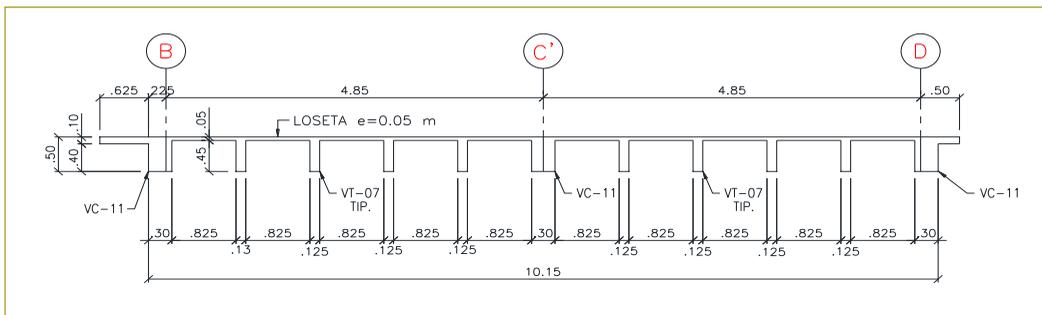


Figura 6. Corte transversal de placa de contrapiso.

- *Caseta de la estación.* Retraso de puesta en servicio de estructura por refuerzo incompleto de cubierta.
- *Bodega del parque industrial.* Asentamiento de columnas de fachada.
- *Estructura de soporte de equipo.* Defectos en proceso de galvanizado.

De los casos desarrollados, se presentan a continuación dos a manera de ejemplo.

Bodega de almacenamiento liviano. Rotura placa de contrapiso

Descripción del proyecto. Cubierta metálica liviana, constituida por cerchas en celosía y columnas en perfiles tipo alma llena, apoyada sobre una placa de contrapiso tipo área (vigas descolgadas y loseta superior de 5 cm), soportada por pilotes.

Fallas y defectos. Después de haber recibido la construcción por parte del cliente, éste inicia el almacenaje de equipos de aire acondicionado livianos (150 kg) por medio de un montacargas.

En uno de los recorridos del montacargas la torta superior cedió, por lo que el equipo quedó atrapado en uno de los casetones; al retirar el equipo, se detectaron rotura y fisuramiento en la placa a lo largo de una junta existente.

Causa probable. Junta de contracción paralela a las viguetas ordenada por el residente de obra, la cual no estaba indicada en los planos estructurales. Al explorar la placa de contrapiso, se encontró que al construir la junta se realizó un corte con una profundidad de unos 4 cm, cortando el acero de refuerzo y modificando el comportamiento estructural de la loseta pues ésta trabajaría como voladizo.

Solución recomendada. Demoler la “torta” superior (5 cm) de la placa de contrapiso y volver a fundirla; con

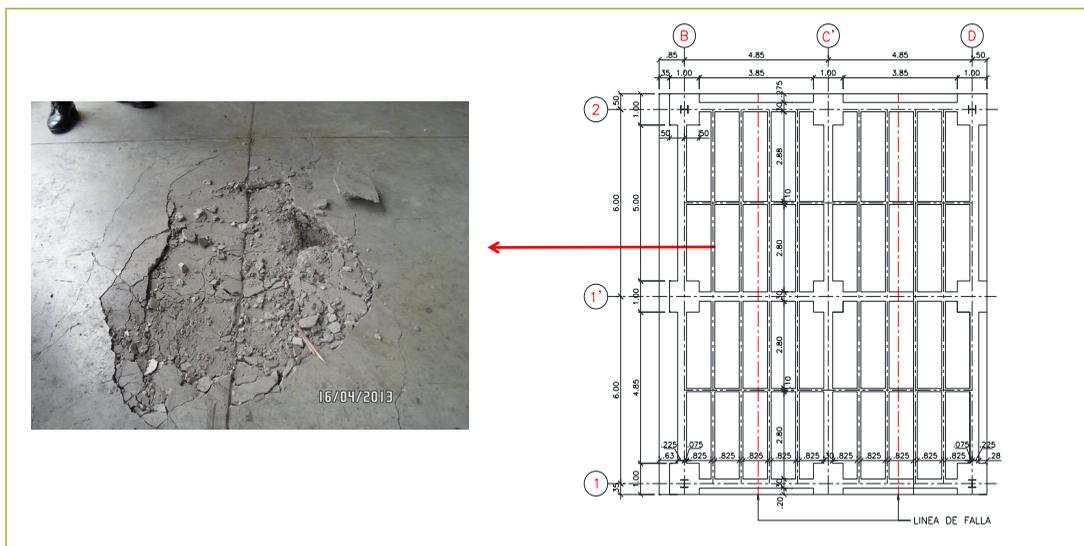


Figura 7. Falla en placa de contrapiso.

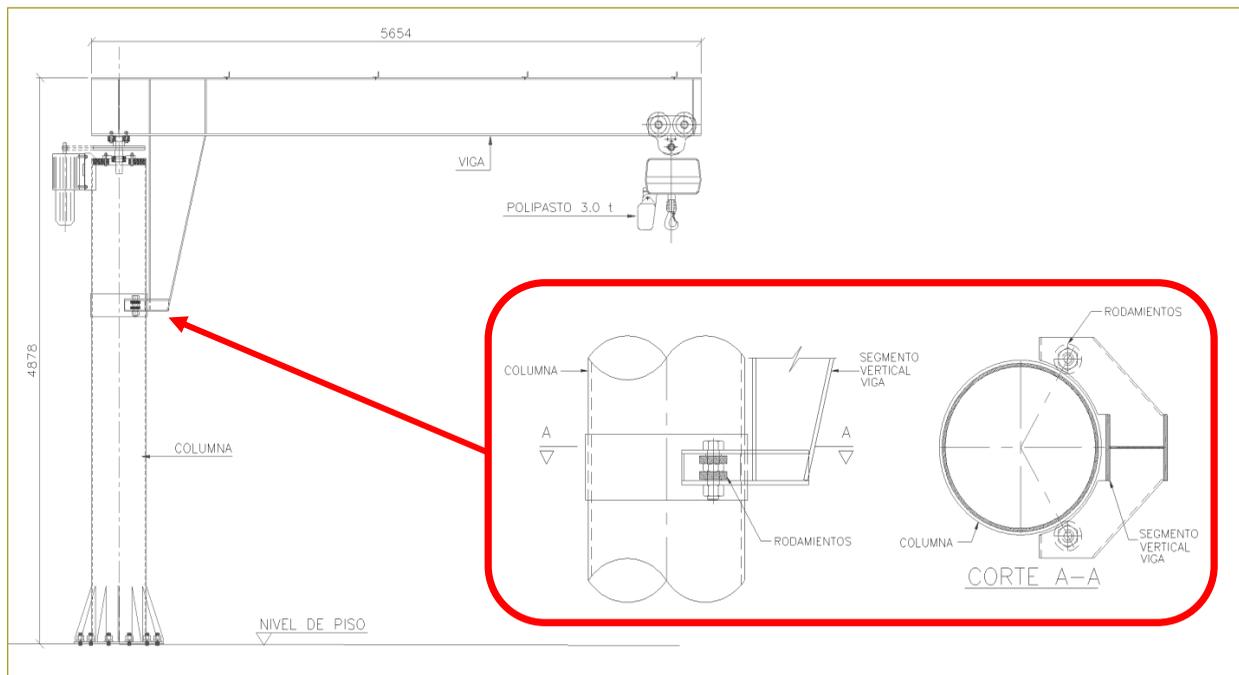


Figura 8. Alzado brazo pescante.

esto se evitaba la apariencia de un producto reparado y, por el contrario, se recuperaría su estado estético por tratarse de una estructura nueva.

Enseñanzas. Se debe tener precaución al realizar juntas en elementos de concreto, pues el acero de refuerzo no debe ser afectado por éstas.

En ocasiones, construir de nuevo un elemento de concreto resulta más económico que hacer reparaciones; además, brindan un mejor acabado y el cliente final estará más conforme respecto al producto terminado.

Brazo pescante. Falla en prueba de carga

Descripción del proyecto. Viga metálica tipo IPE en voladizo, apoyada en uno de sus extremos sobre una columna metálica de $\phi 20''$; la viga gira 320° alrededor de la columna por medio de un motorreductor en la parte superior de la columna y una serie de rodamientos instalados en un segmento vertical de la viga, para que ésta se desplace sobre la cara de la columna, su uso está destinado para cargar y descargar de insumos en una planta de producción de perfiles, cuya capacidad es de 3 t.

Fallas y defectos. En prueba de carga, se evidencia deformación excesiva en el extremo libre de la viga ($\delta_{vert} = 81 \text{ mm}$ vs. $\delta_{adm} = L/225 = 23 \text{ mm}$), generando

dificultad para que el polipasto se desplazara sobre la viga; después se rompe la cadena del motorreductor y se desacopla parcialmente la viga; el cliente declara prueba de carga insatisfactoria y genera no conformidad.

Causa probable. Se descarta falla en la fabricación de la estructura con una inspección de calidad, se declara falla en el diseño al evidenciar una definición inadecuada en el programa de computador del tipo Equal en los puntos de apoyo de la viga, sobre la cara de la columna, que limitaba la deformación de la viga en dirección vertical, originada por solicitud del director de diseño para ajustar modelo estructural al modelo elaborado en el prediseño de la oferta (viga sobre columna con pie de amigo), con el fin de no incrementar los costos de producción.

Solución recomendada. Hacer un nuevo diseño estructural atendiendo los hallazgos; de este modo, se obtuvieron tanto una viga como una columna de mayores dimensiones, cumpliendo los requisitos de funcionalidad y seguridad al realizar la nueva prueba de carga.

Enseñanzas. Al construir un modelo estructural por computador se deben definir características, de tal manera que se refleje la realidad del comportamiento de la estructura y no una forma idealizada de ésta (figura 9).

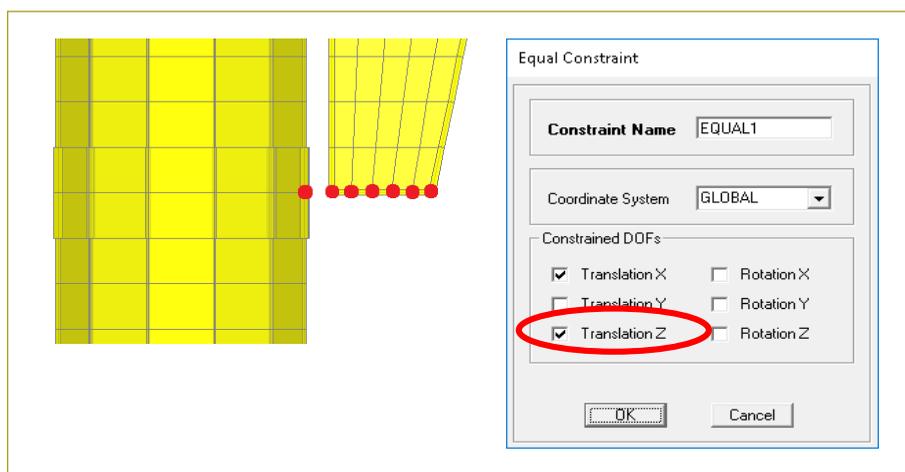


Figura 9. Definición de condición tipo EQUAL no adecuada.

CONCLUSIONES

Gracias a la investigación hecha se pudieron recopilar los tipos de patología más frecuentes que aquejan las estructuras, lo que le da al lector las bases para la identificación del origen de las fallas o daños, lo cual es el paso inicial para la evaluación patológica de una estructura. Sin embargo, queda en manos del lector la profundización de los temas expuestos, con el propósito de desarrollar un diagnóstico exitoso en futuros casos de estudio de fallas en los que tenga oportunidad de participar a lo largo de su vida profesional.

Las metodologías de exploración, evaluación y diagnóstico de las estructuras expuestas en este proyecto permiten abordar, desde diferentes puntos de vista, las fallas y defectos que habitan en las estructuras, con el fin común de discernir el origen de dichas afectaciones y proponer una solución. No obstante, está en manos del profesional y su criterio la aplicación adecuada de éstas para establecer las hipótesis más acertadas y definir las acciones más eficaces, encaminadas a recuperar el estado de funcionalidad y seguridad básica de las estructuras.

Aunque se propone y recomienda una metodología para la exploración, evaluación y diagnóstico de estructuras, ésta no es una camisa de fuerza que deba seguir el profesional, pues teniendo en cuenta que cada proyecto es único, tal vez sea necesario combinar varias de ellas o incluso crear una nueva, lo cual se deja a juicio del ingeniero.

Por otro lado, el análisis de algunos casos de fallas y defectos de estructuras construidas en Colombia permitió evidenciar que el origen de dichos daños proviene de las diferentes etapas del proyecto de construcción, tanto desde su concepción y el diseño, como del proceso constructivo, su uso y mantenimiento. Sin embargo, el estudio y el diagnóstico de las afectaciones evidenciadas permitieron, en la mayoría de los casos, que dichas estructuras tuvieran una segunda oportunidad para seguir cumpliendo la función para la que se concibieron inicialmente.

Este proyecto de investigación servirá para concientizar al lector respecto a la función social que cumple la ingeniería civil en la sociedad colombiana, ya que las falencias o deficiencias que se pueden evidenciar en los procesos que se llevan a cabo para la construcción de una estructura, no sólo pueden llegar a afectar la funcionalidad de ésta, sino también pueden llegar a afectar la condición de seguridad, poniendo en riesgo la vida de sus usuarios u ocupantes.

Por último, vale la pena destacar que aunque los estudios de patología estructural, en la mayoría de los casos, permiten recuperar la funcionalidad y seguridad de una estructura afectada por fallas o defectos, los profesionales deben tener claro que una reparación o rehabilitación estructural resulta mucho más costosa que desempeñar un buen trabajo desde el principio, cuando se participa en alguna de las fases de un proyecto de obra civil.

REFERENCIAS

- Broto, C. (2005). *Enciclopedia Broto de patologías de la construcción*. Barcelona: Links International.
- Díaz, P. (2014). *Protocolo para los estudios de patología de la construcción en edificaciones de concreto reforzado en Colombia* (trabajo de grado). Bogotá.
- Escola, R. (1993). *Construcciones con defectos, fallos o peligros*. Bilbao.
- Helene, P. (2015). *Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto*. México, D.F.: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- López, F., Rodríguez, V., Santa Cruz, J., Torreño I. & Úbeda, P. (2004). *Manual de patología de la edificación*. Madrid: Departamento de Tecnología de la Edificación, Universidad Politécnica de Madrid.
- Monjo, J. (1997). *Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos*. Madrid: Munilla-Lería.
- Monjo, J. & Maldonado, L. (2001). *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*. Madrid: Munilla-Lería.
- Muñoz, H. (2001). Evaluación y diagnóstico de las estructuras de concreto. Seminario Instituto del Concreto (Asocreto). Bogotá.