**SIMPOSIO INTERNACIONAL DE CONSTRUCCIONES**

**PATOLOGÍA DE LAS ESTRUCTURAS. DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y CONSERVACIÓN**

**Nuevo enfoque para evaluar daños patológicos en estructuras de grandes paneles prefabricados. Gran Panel Soviético**

***New approach to assess pathological damage in large precast panel structures. Great Soviet Panel***

**Yamila Concepción Socarrás Cordoví1**

1-Yamila Concepción Socarrás Cordoví. Universidad de Oriente, Cuba.

E-mail:[yasocarrascordovi@gmail.com](mailto:yasocarrascordovi@gmail.com)

**Resumen:** En la ciudad de Santiago de Cuba, existe un número significativo de edificaciones construidas con el sistema prefabricado Gran Panel Soviético en condiciones críticas de explotación. Ellas evidencian daños patológicos en estados avanzados de evolución, tanto en los elementos como en juntas estructurales, que comprometen el comportamiento sísmico; siendo necesario realizar una evaluación de esos daños patológicos e imbricarlos en el análisis estructural. Sin embargo, los métodos consultados que valoran daños patológicos, como los de evaluación del estado técnico constructivo y de la vulnerabilidad sísmica, no se ajustan para evaluar edificaciones prefabricadas enclavadas en una zona de peligro sísmico. Por eso, tomando como punto de partida, tanto el diagnóstico realizado a una muestra representativa de 200 edificios, como de una exhaustiva búsqueda bibliográfica, se precisan un conjunto de variables, indicadores y coeficientes de ponderación, a través de la aplicación del método Delphi. Se obtiene así un nuevo enfoque para evaluar los daños patológicos, considerando coeficientes de ponderación de acuerdo a la importancia del elemento o junta estructural y el porciento de área afectada, así como el tipo de daño patológico, su repercusión y, su incidencia en la respuesta de la estructura ante un sismo.

* **Problemática:** Los métodos consultados que valoran daños patológicos, como los de evaluación del estado técnico constructivo y de la vulnerabilidad sísmica, no se ajustan para evaluar edificaciones prefabricadas enclavadas en una zona de peligro sísmico.
* **Objetivo(s):** Definición de la estructura de variables e indicadores que conforman el procedimiento para evaluar los daños patológicos en las edificaciones construidas con el sistema prefabricado Gran Panel Soviético.
* **Metodología:**

La metodología seguida responde a:

1-Conceptualizar los daños patológicos en las estructuras de hormigón prefabricadas en zonas sísmicas y valorar sus consecuencias.

2- Evaluar las limitaciones de las metodologías o procedimientos que valoran daños patológicos, como las de evaluación del estado técnico constructivo y de la vulnerabilidad sísmica.

3-Diagnosticar los daños patológicos que existen en las estructuras construidas con el sistema prefabricado Gran Panel Soviético.

4- Precisar un conjunto de variables, indicadores y coeficientes de ponderación, a través de la aplicación del método Delphi.

5-Elaborar el Procedimiento de Evaluación de daños patológicos en las estructuras construidas con el Gran Panel Soviético.

Para esto se emplearonmétodos como Inducción –deducción, Hipotético – deductivo; Histórico- lógico; Análisis y síntesis; Sistémico estructural funcional, Estadístico, Análisis documental y Observación científica. Igualmente se empleó como técnica la revisión bibliográfica.

* **Resultados y discusión:** Elprocedimiento que se propone, considera coeficientes de ponderación no solo de acuerdo a la importancia del elemento estructural o junta estructural, y el porciento de área afectada, sino también en dependencia del tipo de daño patológico, su repercusión, y su incidencia en la respuesta de la estructura ante un sismo.
* **Conclusiones:** La estructura de variables e indicadores; validada a través del Método Delphi, constituye el sustento teórico del procedimiento que se aporta. La evaluación de daños patológicos en los elementos estructurales y juntas, resulta novedosa dentro de los enfoques convencionales de evaluación de edificaciones prefabricadas.

***Abstract:*** *In the city of Santiago de Cuba, there is a significant number of buildings built with the prefabricated Great Soviet Panel system in critical operating conditions. They show pathological damage in advanced stages of evolution, both in the elements and in structural joints, which compromise the seismic behavior; being necessary to carry out an evaluation of these pathological damages and to interweave them in the structural analysis. However, the methods consulted that assess pathological damage, such as those for evaluating the technical construction status and seismic vulnerability, are not suitable for evaluating prefabricated buildings located in an area of ​​seismic danger. Therefore, taking as a starting point, both the diagnosis carried out on a representative sample of 200 buildings, as well as an exhaustive bibliographic search, a set of variables, indicators and weighting coefficients are required, through the application of the Delphi method. Thus, a new approach is obtained to evaluate pathological damage, considering weighting coefficients according to the importance of the structural element or joint and the percentage of affected area, as well as the type of pathological damage, its repercussion and its incidence on the response. of the structure in the event of an earthquake.*

**Palabras Clave:** Daños patológicos; Manifestaciones patológicas; Deterioro; Evaluación; Hormigón prefabricado; Grandes paneles

***Keywords:*** *Pathological damage; Pathological manifestations; Deterioration; Evaluation; Precast concrete; Large panels*

**1. Introducción**

A raíz de la devastación ocasionada por el ciclón Flora, es donada por la ex URSS, el sistema I-464 conocido popularmente como Gran Panel Soviético (GPS). Este sistema se convirtió en el principal recurso para resolver los problemas de viviendas en la provincia de Santiago de Cuba. A pesar de haber sido una producción concentrada sólo en esta provincia llegó a ocupar el 13.9% del total de la producción nacional, de las plantas de prefabricado de viviendas hasta el año 1988, antecedido sólo por el sistema Gran Panel IV.

Aunque las edificaciones construidas con el sistema GPS, fueron diseñadas teniendo en cuenta el peligro sísmico de la zona oriental, los especialistas del territorio muestran preocupación por la respuesta sísmica de estas edificaciones. La causa fundamental de la incertidumbre, son los daños patológicos en elementos y juntas estructurales, y modificaciones estructurales que evidencian. Por lo tanto, se precisa definir el probable desempeño estructural de estas edificaciones de forma rápida en la mayor cantidad de ellas.

A nivel internacional existen diversas metodologías que se usan para evaluar la vulnerabilidad sísmica, que pudieran servir para estos propósitos. Socarrás y Álvarez (2018) comparan algunos métodos empíricos, en cuanto a las descripciones de los daños patológicos, los modificadores en base a ellos, entre otros aspectos. Concluyendo que no integran una detallada y precisa evaluación de daños patológicos como punto de partida de la evaluación de los daños sísmicos potenciales, por lo tanto, no se ajustan a la finalidad perseguida.

También se examinaron metodologías que evalúan el estado técnico-constructivo, destacándose entre ellas, por su generalidad de empleo, el Procedimiento para determinar el estado técnico de la vivienda (PINV). Del análisis, se considera que los métodos usados en Cuba, logran establecer de manera adecuada, un peso porcentual y una puntuación máxima por componente, teniendo en cuenta la importancia del elemento y el porciento de superficie afectada. Específicamente la metodología de Tejera y Álvarez (2013) perfeccionada por Ravelo (2014) precisa los descriptores de daños patológicos, para diferentes niveles de daño. Sin embargo, estos métodos, no se ajustan para evaluar edificaciones enclavadas en una zona de peligro sísmico, esta evaluación requiere de una connotación especial. Se deben considerar factores de ponderación no solo de acuerdo a la importancia del elemento estructural y el porciento de área afectada, sino también en dependencia del tipo de daño patológico, su repercusión e incidencia en la respuesta estructural ante un sismo.

En este contexto, este artículo define la estructura de variables e indicadores que se somete al juicio de expertos, para conforman el procedimiento de evaluación de los daños patológicos en las edificaciones construidas con el sistema prefabricado Gran Panel Soviético. Este procedimiento debe configurar una etapa indispensable, dentro de la evaluación del daño sísmico potencial, donde se involucren los restantes aspectos que inciden en la vulnerabilidad sísmica.

**2. Metodología**

La metodología seguida responde a:

1-Conceptualizar los daños patológicos en las estructuras de hormigón prefabricadas en zonas sísmicas y valorar sus consecuencias.

2- Evaluar las limitaciones de las metodologías o procedimientos que valoran daños patológicos, como las de evaluación del estado técnico constructivo y de la vulnerabilidad sísmica.

3-Diagnosticar los daños patológicos que existen en las estructuras construidas con el sistema prefabricado Gran Panel Soviético.

4- Precisar un conjunto de variables, indicadores y coeficientes de ponderación, a través de la aplicación del método Delphi.

5-Elaborar el procedimiento de evaluación de daños patológicos en las estructuras construidas con el Gran Panel Soviético.

**3. Resultados y discusión**

Los daños patológicos son considerados como un síntoma del proceso patológico, con diferentes niveles de afectación estructural y que provocan reducción de las prestaciones técnicas. Pueden aparecer por causas intrínsecas o extrínsecas tanto mecánicas, químicas, físicas o biológicas, incluso las combinaciones de ellas. Igualmente se originan en cualquier etapa del proceso constructivo o explotación de la estructura.

Estos dependen en gran medida del tipo de material empleado en las estructuras. Existe consenso entre autores como Helene y Pereira (2007), Husni *et al.* (2007), Tejera y Álvarez y (2013), en cuanto a los daños patológicos que se pueden encontrar en las estructuras de hormigón armado. Entre los principales refieren, las humedades, abrasión o desgaste y erosión, los organismos o suciedades, las fisuras (por retracción hidráulica, fraguado o desplazamiento térmico), deformaciones, desplomes, distorsiones, grietas o fisuras (a causa de las cargas, por asentamientos diferenciales, así como las de adherencia y anclaje), corrosión de armaduras y mecanismos de descomposición del hormigón.

Álvarez (2002), Molina (2005), Bermúdez (2007), Del Río (2008), Piñeiro *et al.* (2008), Mahmoud (2009), Bermejo (2009), Carreño (2015), Socarrás y Socarrás (2016), al igual que Fernández (2016), Ercolani et al. (2017) y Bossio (2021) abordan los daños patológicos que aparecen en los elementos de hormigón prefabricado, así como pormenorizan en el origen de estos, y evidencian que existe plena coincidencia con los daños patológicos que afectan a las estructuras de hormigón fundido *in situ*, ya que van a estar regidas por las mismas exigencias tanto de la mecánica estructural como de exposición al medio.

Por su parte, Álvarez (2002), Del Río (2008) y Piñeiro *et al.* (2008) declaran que los orígenes de los daños patológicos en el prefabricado se pueden gestar en cualquiera de las etapas: proyecto, fabricación, almacenamiento, transporte y ejecución. Acertado criterio, toda vez que; aunque la prefabricación implica un mejor control y calidad del proceso; no está exenta de fallas en cualquiera de sus etapas. Por ejemplo, si no se diseñan o ejecutan adecuadamente las juntas entre los elementos prefabricados, aparecen daños como las humedades, corrosiones, mecanismos de desintegración, fisuraciones, deformaciones, entre otros. Por eso, Socarrás y Vidaud (2017) concluyen que “(...) muchas veces la inadecuada ejecución (sobre todo lo relacionado con las juntas), trae consigo un acelerado deterioro de las estructuras”. (p.111).

Los métodos de evaluación post sismo de las estructuras, como los de: *Applied Technology Council* de Estados Unidos (ATC), específicamente (ATC-20-1-2005); Comisión Evaluadora de Riesgos de San Salvador (CER-2008); Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS-2009); Gaceta Oficial del Distrito Federal de México (NTC-2017), Ministerio de Obras Públicas de Chile (MOP-2014) y del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda de Ecuador (MDUV-2016), consideran como daños sísmicos en las estructuras de hormigón armado, las fisuras o agrietamiento sobre todo por corte, el aplastamiento o descascaramiento y deformaciones. Husni *et al.* (2007) coinciden que son estas las manifestaciones de las acciones sísmicas en las estructuras de hormigón armado e incluyen la pérdida de adherencia del acero. Es decir, los daños sísmicos son en definitiva los daños patológicos generados por la acción sísmica.

Polyakov (1974), García (2007), Vagheia et al. (2014), Ghosh (2015) y el reporte FEMA-154 (2015) se refieren a los mismos daños sísmicos mencionados, en las estructuras de hormigón prefabricado a base de grandes paneles. Enfatizan en las fisuras que aparecen en las juntas horizontales y verticales, incluyendo el astillamiento en las juntas entre los paneles y la cimentación. También detallan el agrietamiento de los paneles, fundamentalmente en el primer nivel y alrededor de los vanos y dinteles; el vuelco y deformación de los paneles; así como la flexión, agrietamiento y hasta colapso del diafragma de piso.

**Consecuencias de los daños patológicos en el hormigón armado prefabricado**

La humedad es uno de los daños más tratados en la literatura consultada, abordada por Emmons (2005); Helene y Pereira (2007), Piñeiro *et al.* (2008) y otros. La consideran de forma general como una de las causas primarias de la mayoría de los daños patológicos, pero al mismo tiempo se considera como un daño propiamente, que genera desde la presencia de suciedades y organismos, hasta manchas, mecanismos de desintegración del hormigón y corrosión del acero.

Las suciedades y organismos son estudiados por diversos autores. Tejera y Álvarez (2013) discurren que las suciedades “(...) han sido toleradas como mera afección normal de la superficie, de valor estético y escasa incidencia en la seguridad de los edificios” (p.201). Pero argumentan que este punto de vista es incorrecto, ya que pueden conllevar a otros procesos físicos - químicos capaces de deteriorar los materiales, provocan desde un cambio de color de la superficie, hasta la aparición de moho, hongos y en algunos casos pueden llegar a desarrollarse especies vegetales. Incluyen dentro de los organismos a las plantas, excretas de aves, microorganismos, hongos y líquenes y argumentan que pueden aparecer desde manchas, hasta grietas y fisuras.

Mahmoud (2009), por su parte, se ciñe a los microorganismos, plantea que estos favorecen el desarrollo de las incrustaciones biológicas, que pueden dar lugar a procesos de corrosión biológica. Márquez (2015) plantea en este sentido que, junto al agrietamiento excesivo, facilitan el ataque químico, afectando negativamente la integridad del material y producen tanto incremento de la porosidad, como reducción de la resistencia. Es decir, que las suciedades y organismos, pueden desencadenar mecanismos de desintegración del hormigón y la corrosión del acero.

Específicamente los mecanismos de desintegración en el hormigón armado; a causa del ataque de sulfatos, ácidos, agua de mar, la reacción álcali-agregado, la descomposición de cal y magnesio, la acción del fuego, la lixiviación y/o eflorescencia y la carbonatación, han sido tratados por Helene y Pereira (2007), Chávez *et al.* (2013), Tejeda y Álvarez (2013), Contreras (2017), entre otros. Por ejemplo, Helene y Pereira (2007), plantean que “las eflorescencias perjudican la estética, pero que en sí mismas, no constituyen un problema específico de durabilidad; sin embargo, indican que existen procesos de solubilización y transporte de sales desde el interior de la masa, revelando fenómenos de lixiviación. Esto puede llevar a un incremento de la porosidad, disminuyendo la resistencia, aumentando la permeabilidad, haciendo al hormigón más vulnerable a otros ataques y consecuentemente afectar indirectamente la durabilidad” (p. 71). Es decir, que la eflorescencia vista como síntoma de la lixiviación, en estadios iniciales puede ser solo un daño que afecta la estética, pero si las causas que las generan persisten, afecta también la durabilidad.

Emmons (2005), por su parte, refiere que la exposición a químicos agresivos puede provocar que el hormigón altere su composición química, cambiando sus propiedades mecánicas. Acota que, “el agua puede ser uno de los ambientes agresivos que causan la desintegración” (p.21). Considera, además, que la reacción álcali-agregado puede generar agrietamiento severo del hormigón, por el ataque de sulfatos se inicia la formación de escamas y la desintegración, pero luego aparece el deterioro del hormigón. Husni et. al (2007) se refieren a la exposición de los agregados a causa de la desintegración de la pasta de cemento cuando ocurre el ataque por ácidos y bases en una etapa inicial, pero en una etapa avanzada, aparecen cavidades o huecos. También se refieren al cambio de coloración de la superficie y las alteraciones en el acero, el hormigón y la adherencia entre ambos, a causa de la acción del fuego.

Chávez *et al.* (2013) y Contreras (2017) valoran la incidencia desfavorable de la carbonatación en relación a la corrosión del acero. Aguirre y Mejías (2013), puntualizan que los dos tipos más importantes de corrosión del acero son a causa de la exposición a cloruros y/o carbonatación. La corrosión del acero también es un daño patológico, que a veces llega a generar otros daños y es una de las causas principales del deterioro de las estructuras de hormigón. Fernández (2016) especifica los niveles de deterioro de la corrosión, que van desde las manchas de óxido, delaminación del acero, desprendimiento del hormigón y la fisuración.

Es decir, se aprecia a la corrosión como un daño patológico, que induce otros daños, entre ellos la fisuración. Pero también esa corrosión puede analizarse como consecuencia de la fisuración. Al respecto, Fernández (2016) considera a las fisuras como uno de los factores que influyen en la corrosión, y acota que son más peligrosas las que siguen la longitud de las barras, potenciando la carbonatación y la corrosión generalizada.

Como se ha explicado, la fisuración vista como un daño patológico genera corrosión y puede originarse desde la etapa del hormigón en estado plástico. Las fisuras de retracción hidráulica y fraguado aparecen en esta etapa, a solo horas, días o semanas de la fundición de los elementos. Su manifestación típica distintiva, es su pequeño ancho, constante en todo su trazado.

Otras fisuras pueden aparecer en el hormigón endurecido, como son las producidas por las cargas, que son analizadas por Helene y Pereira (2007) así como Tejera y Álvarez (2013). Incluyen dentro de esta clasificación a las fisuras por corte, flexión, torsión, tracción, compresión, combinaciones de estas acciones, adherencia y anclaje, al igual que por asentamientos diferenciales. Específicamente, sobre las fisuras por asentamientos diferenciales, Helene y Pereira (2007) enumeran entre las causas más importantes las relacionadas con errores en el proyecto o ejecución de la cimentación; deformaciones excesivas del suelo por alteraciones producto a vibraciones, socavación, erosión; entre otras.

Tejera y Álvarez (2013), concretan que las exigencias de durabilidad, funcionalidad, estética y riesgos psicológicos, son razones a valorar para limitar el ancho y número de fisuras. Estos autores limitan el ancho de fisura por riesgos psicológicos a 0,10 mm. Por su parte Husni et al. (2007), aportan valores de anchos de fisuras, en relación al tipo de esfuerzo actuante, especifica anchos de fisuras aproximados entre 0,05 – 0,15 mm para las fisuras por compresión y por flexión compuesta de 0,10 mm. También los métodos de evaluación de daños post sismo CER-2008, NTC-2017, AIS-2009, así como los índices de daño de Hurtado (2014), precisan anchos de fisuras o grietas para diferentes niveles de daño después de la ocurrencia del sismo (Ver tabla 1). Las fisuras producto a la acción sísmica son fundamentalmente por corte, aunque no escapan las de compresión o flexocompresión.

Tabla 1. Anchos de fisuras o grietas para diferentes niveles de daños post sismo. Fuente: Socarrás (2020)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Método de evaluación de daños post sismo | Anchos de fisuras o grietas para los niveles de daño | | | |
| Ligero o nulo | Moderado | Fuerte | Severo |
| NTC-2017  AIS- 2009 | ancho  < 0,2 mm | ancho entre  0,2 - 1,0 mm | ancho entre  1,0 - 2,0 mm | ancho de grietas  > 2,0 mm |
| CER-2008 | ≤ 0,4 mm | ≤ 1,0 mm | ≤ 5,0 mm | > 5,0 mm |
| Hurtado (2014) | ancho entre  0,2 - 1,0 mm | ancho entre  1,0 - 2,00 mm | ≤ 6,0 mm | > 6,0 mm |

En la literatura revisada la evaluación de una estructura con daños patológicos se realiza con diferentes propósitos y empleando diferentes métodos. Existen métodos que evalúan la resistencia o estado constructivo de la edificación en base a daños patológicos solamente y otros que evalúan específicamente la vulnerabilidad sísmica. También existen métodos que evalúan daños post sismos. A continuación, se analizan cada una de ellas.

**Metodologías o procedimientos que valoran daños patológicos**

* **Métodos que evalúan la resistencia o estado constructivo de la edificación**

Autores como Morán (1993), Álvarez (2006) y Casanovas (2007) abordan métodos que evalúan la resistencia o estado constructivo de la edificación, que clasifican dentro de tres categorías: los métodos de porcentajes preestablecidos, los de análisis del estado de esfuerzos y los de pruebas de carga. En la categoría de métodos de porcentajes preestablecidos, según Morán (1993), es común “(…) aceptar que todos los elementos que perdieron menos de un cierto porcentaje (determinado con anterioridad) de su resistencia (y no de su sección) pueden ser aún útiles y que todos los elementos que han perdido más de ésta porción de resistencia son no útiles” (p.3). Continúa argumentando que “las pérdidas de resistencia admisible pueden ser establecidas a cualquier nivel no mayor del 15 %, según la obra que se considere, de acuerdo a los criterios de uso” (p.3). Se aprecia que estos métodos son muy subjetivos, no fijan el porcentaje admisible de pérdida de resistencia de acuerdo al tipo de daño y dependen de la experticia del evaluador.

Uno de los más difundidos y empleados en Cuba es el Procedimiento para determinar el estado técnico de la vivienda (PINV). Parte de la valoración por medio de una puntuación del estado técnico que presenta cada uno de los componentes estructurales y revestimiento, e incluye también en esa valoración las terminaciones, instalaciones eléctricas e hidrosanitarias. Fija un peso porcentual y una puntuación máxima por componente. Sin embargo, este procedimiento tiene limitaciones para evaluar daños patológicos en estructuras de hormigón armado, porque los descriptores de daños patológicos son muy generales y exiguos, solo circunscribe como daños patológicos, las grietas, pandeos o flechas, abofamientos, desplomes, oquedades y corrosión.

También, en Cuba se emplea la metodología de Tejera y Álvarez (2013) perfeccionada por Ravelo (2014), la que facilita una evaluación detallada de todos los componentes estructurales o no estructurales de una edificación. Enumera por cada uno de ellos, diversos síntomas con sus niveles de daños. Sin embargo, estos niveles de daños no dependen del tipo de daño, ni de su repercusión, son los mismos niveles de daño para todos los síntomas, solo dependen del porciento de superficie afectada. Los factores de ponderación que se proponen, son mayores para los elementos horizontales, seguidos de la cimentación.

Otra categoría, la conforman los métodos de análisis del estado de esfuerzos. Estos, a través de la modelación estructural, evalúan la resistencia y seguridad residual de la estructura, después de ser caracterizada a través de ensayos. No obstante, no establecen el porcentaje máximo de pérdida de resistencia. Son igualmente subjetivos a pesar de auxiliarse de métodos de modelación estructural, ya que no fijan criterios de aceptación, todo depende de la apreciación del especialista. A decir de Casanovas (2007), la evaluación de la resistencia de la estructura, “(…) es especialmente conflictiva ya que los estándares de seguridad estructural están pensados para construcciones nuevas (…) y es prácticamente imposible asimilarlas en la realidad tradicional” (p.27).

Se coincide con estos planteamientos, y se considera además que dichos métodos son muy ventajosos en la etapa de diagnóstico siempre que se apoyen de una detallada y precisa evaluación de daños patológicos. Deben incorporar además de una caracterización de la estructura original, su estado en las condiciones actuales; así como una definición acertada del alcance o propósito de la intervención.

Por su parte, los métodos basados en pruebas de carga, pueden representar una buena alternativa. Sin embargo, su empleo tiene que ser muy cuidadoso, para no provocar daños adicionales a la estructura. Tampoco se justifica su empleo en estructuras muy dañadas.

Del análisis, se considera que los métodos usados en Cuba, logran establecer de manera adecuada, un peso porcentual y una puntuación máxima por componente, teniendo en cuenta la importancia del elemento y el porciento de superficie afectada. Específicamente la metodología de Tejera y Álvarez (2013) perfeccionada por Ravelo (2014) precisa los descriptores de daños patológicos, para diferentes niveles de daño. Sin embargo, estos métodos, no se ajustan para evaluar edificaciones enclavadas en una zona de peligro sísmico, esta evaluación requiere de una connotación especial. Se deben considerar factores de ponderación no solo de acuerdo a la importancia del elemento estructural y el porciento de área afectada, sino también en dependencia del tipo de daño patológico, su repercusión e incidencia en la respuesta estructural ante un sismo.

* **Metodologías o procedimientos que evalúan de la vulnerabilidad sísmica y daños post-sismo**

Socarrás y Alvarez (2018) concluyen que la mayoría de los métodos empíricos para determinar la vulnerabilidad sísmica de las estructuras existentes, como los métodos del Indice de vulnerabilidad (1984), de Hurtado y Cardona (1990), Método venezolano (1985), Método de Iglesias (1989), Hirosawa (1992), Scarlat (1996), entre otros; contienen varios atributos que modifican la respuesta sísmica de la estructura o la capacidad de los elementos en resistencia última, como los daños patológicos. Aunque las descripciones de los daños patológicos son muy generales, sin considerar explícitamente niveles de afectación. Algunos métodos carecen de escalas de valores y en otros la evaluación es netamente cualitativa. La generalidad no incluye modificadores para las estructuras prefabricadas de hormigón armado.

En la investigación de Bat et al. (2008) aplicable a estructuras de hormigón armado, no prefabricadas, sólo se utilizan modificadores para la corrosión del acero como daño patológico. Recientemente Moufit et al. (2020), realizan una revisión crítica de las metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica, usadas en países como Canadá, Japón, Turquía, Grecia, Nueva Zelanda, entre otros. En relación a los métodos empíricos plantean que, como se basaron generalmente en el juicio de expertos, no son muy fiables. Igualmente consideran que estas metodologías no involucran ni todas las tipologías estructurales ni las intensidades sísmicas, que son esenciales para la estimación de la vulnerabilidad; y tienen inconsistencia en la ponderación para clasificar la vulnerabilidad. La presente investigación también acota en relación a esas mismas metodologías, que no involucran una detallada evaluación de los daños patológicos.

Por eso, se concluye que, ninguno de estos métodos empíricos permite obtener una evaluación de la vulnerabilidad sísmica, que integre una precisa evaluación de daños patológicos cuando se necesita evaluar una edificación antes de la ocurrencia de un sismo. Éstos métodos no precisan explícitamente diferentes niveles de afectación para los daños patológicos que relacionan, lo que induce un alto grado de subjetividad a la hora de evaluarlos. Aunque el Método Scarlat (1996) aporta consideraciones importantes para modificar la respuesta de la estructura con presencia de daños patológicos, con un tratamiento diferenciado cuando es prefabricada. No obstante, es muy general el tratamiento de las estructuras prefabricadas a base de grandes paneles; porque no se particulariza en el sentido de transmisión de cargas, cruzada, longitudinal o transversal. Tampoco estima las repercusiones de los daños patológicos de las juntas entre los elementos estructurales.

Existen igualmente los métodos analíticos, en los que el análisis estructural es realizado de acuerdo a los procedimientos y especificaciones incluidos en los códigos de diseño sismorresistente y de construcción vigentes. El acierto de estos, radica en que se utilice la documentación del proyecto original y en que se caracterice la estructura en las condiciones de explotación, incluyendo parámetros relacionados con el efecto del envejecimiento y los daños patológicos.

Moufit et al. (2020) consideran que analíticamente, todavía quedan algunas cuestiones extraordinarias por resolver, como la capacidad de los modelos cuantitativos para prever con precisión la respuesta de la estructura actual; y la precisión de los modelos computacionales numéricos para estructuras reales dañadas. Coexistiendo aún como un desafío, la correlación o transformación de los daños de campo mediante la aplicación de una aproximación analítica. Siendo indispensable, contar con softwares como el Open Sees, ABAQUS, ANSYS, entre otros.

Varios son los criterios que se pueden manejar para incluir los daños en los modelos computacionales. Se pueden mencionar el empleo de secciones agrietadas, desacople de elementos dañados, redefinir la geometría de las secciones, entre otros. En concreto, Karapetrou et al. (2017) discutieron el comportamiento sísmico de edificios de hormigón armado teniendo en cuenta el efecto de envejecimiento incluyendo en el modelo el tiempo de corrosión; utilizando el software OpenSees.

Concluyen Moufit et al. (2020) que, la exactitud en el pronóstico de la vulnerabilidad a nivel de una estructura podría ser posible si la predicción se obtiene utilizando el modelado de elementos finitos y aplicando las herramientas de análisis no lineal. Aunque en particular, plantean que los procedimientos estáticos no lineales, no proporcionan un resultado infalible en comparación con el análisis de la historia en el tiempo no lineal o bien cuando se evalúa experimentalmente el comportamiento sísmico de las edificaciones.

En Cuba se cuenta con diversas metodologías para evaluar la vulnerabilidad sísmica a diferentes niveles, aunque estas presentan limitaciones respecto al análisis de los daños patológicos, como condicionantes de daños sísmicos potenciales. Entre ellas se encuentran la Metodología integral para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones en Cuba, Oliva (2004), Evaluación rápida por análisis dinámico de sistemas constructivos en zonas sísmicas (ERAD) Álvarez (2012) y la Metodología para categorizar el estado técnico, vulnerabilidad y riesgos de edificaciones del Ministerio de la Construcción en Cuba (2016).

Entre los procedimientos de evaluación de daños post sismo consultados, se pueden mencionar los de las normativas ATC-20-1-2005, JBDPA-2001, CER-2008, AIS-2009, MDUV-2016, MOP-2014, NTC- 2017 y de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres de Guatemala (CONRED-2015), entre otros. Ellos establecen las pautas para la inspección de edificios después de un sismo y evalúan la seguridad del edificio, sobre la base solamente de los daños patológicos de origen sísmico. El procedimiento mexicano añade como daño; junto a las grietas y pandeos; la corrosión del acero.

**Los daños patológicos que existen en las estructuras construidas con el sistema prefabricado Gran Panel Soviético**

En Santiago de Cuba, los edificios poseen un estado de avanzado deterioro. Para actualizar la problemática se realizó un levantamiento de los aspectos que condicionan vulnerabilidades sísmicas en 200 edificios, representando el 30,1 % del total. En estos edificios se pudieron acceder a 7 682 apartamentos (37,5 % del total). Se detectaron daños patológicos en paneles, losas y juntas estructurales como: humedad, suciedad y/o organismos, deformaciones, grietas o fisuras, corrosión de armadura y mecanismos de desintegración. Con niveles de afectación que van desde pequeñas manchas de humedad, hasta eflorescencia, desprendimiento o abofamiento del hormigón, delaminación del acero, pérdida de adherencia del hormigón con las barras de acero, entre otros. Socarrás y Álvarez (2019), demuestran que los daños patológicos y otros aspectos que condicionan daños sísmicos potenciales que se obtuvieron de la muestra, son representativos de la población con el 95 % de confianza.

El daño patológico representativo por su porciento de incidencia (80 %) es la humedad, que afecta a las losas y juntas horizontales de locales como la sala y las habitaciones. A su vez, esta humedad se manifiesta a través de la corrosión del acero (60 %) y los mecanismos de desintegración del hormigón (30 %), fundamentalmente en las losas, paneles y juntas horizontales entre ellos, que conforman los locales de la cocina, baño y patio, desde el primer hasta el penúltimo nivel.

**Aplicación del método Delphi**

Los daños patológicos y sus niveles de afectación, así como los coeficientes de ponderación, para evaluar el daño patológico, son ítems que conforman la encuesta que se somete al criterio de expertos. En la selección del número óptimo de expertos, se asumió: K= 3,8416, para un nivel de confianza del 95 % y grado relativamente homogéneo. Para una mayor exactitud se seleccionó: i = 0,09 y se obtiene un número de expertos m = 7,92; que se aproxima a 8. En base a los señalamientos emitidos por ellos, se perfecciona la primera encuesta y se valora la conformación del panel por 20 expertos.

A partir de la autoevaluación realizada por los 20 expertos, se seleccionaron 15. El criterio de selección estuvo regido por el coeficiente C, que se fijó mayor a 0,75; para obtener una buena idoneidad. De los expertos seleccionados, todos son ingenieros civiles, 6 (40%) ostentan el grado de Doctor en Ciencias Técnicas, 6 (40 %) son máster y 2(13,33%) son diplomados en Ingeniería Sísmica. Pertenecen a instituciones de Cuba, México, Brasil y Estados Unidos. A estos expertos se les envía la encuesta perfeccionada. La validación con los expertos, permitieron lograr el procedimiento para evaluar los daños patológicos que se describe a continuación.

**Procedimiento de Evaluación de daños patológicos en las estructuras construidas con el Gran Panel Soviético**

Este procedimiento parte de la evaluación de los daños patológicos que presentan cada uno de los componentes estructurales de estas edificaciones. Se tiene en cuenta el peso porcentual de acuerdo a la importancia de los componentes estructurales en el comportamiento sismorresistente. Los componentes estructurales, su peso porcentual y la puntuación máxima que pueden recibir en dependencia de la clasificación del daño patológico que presentan, se detallan en la tabla 2.

Tabla 2. Puntuaciones asignadas por elemento o junta. Fuente: Elaboración propia

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Estructuración de grandes paneles | | Clasificación del daño patológico por elemento o junta | | |
| Componente estructural | Coeficiente de ponderación | Leve | Moderado | Severo |
| Puntuaciones asignadas | | |
| Paneles y zócalos | 20 % | 7 | 14 | 20 |
| Losas de entrepiso\* y/o cubierta | 17 % | 6 | 11 | 17 |
| Juntas horizontales | 23 % | 8 | 15 | 23 |
| Juntas verticales | 23 % | 8 | 15 | 23 |
| Cimentación | 17 % | 6 | 11 | 17 |
| Puntuación máxima por clasificación |  | 35 | 66 | 100 |

\*La losa de nivel ±0,00 es también estructural.

Una vez definidas las puntuaciones asignadas de forma independiente por cada uno de los elementos y juntas estructurales se proceden a sumar estos puntos, para efectuar la evaluación del daño patológico de los elementos, de las juntas estructurales y de la edificación, de acuerdo con lo establecido en la tabla 3.

Tabla 3. Evaluación del daño patológico. Fuente: Elaboración propia

|  |  |
| --- | --- |
| Estructuración de grandes paneles | |
| Evaluación del daño patológico en elementos estructurales: | Puntuación obtenida |
| Leve | ≤ 19 |
| Moderado | 20 - 36 |
| Severo | > 36 |
| Evaluación del daño patológico en juntas estructurales: | Puntuación obtenida |
| Leve | ≤ 16 |
| Moderado | 17 - 30 |
| Severo | > 30 |
| Evaluación del daño patológico en la edificación: | Puntuación obtenida |
| Leve | ≤ 35 |
| Moderado | 36 - 66 |
| Severo | > 66 |

Indicaciones generales para la evaluación del daño patológico

Examinar exhaustivamente cada componente de la superestructura en todos los niveles estructurales y definir los daños patológicos en ellos.

En la tabla 4, se muestra una categorización de los daños patológicos en la superestructura, de acuerdo a su repercusión en los Estados Límites de Servicio (ELS) y los Estados Límites Últimos (ELU), así como los niveles de afectación estructural que pueden mostrar.

Tabla 4. Daños patológicos en la superestructura y niveles de afectación. Fuente: Elaboración propia

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Daños patológicos | | Niveles de afectación | | |
| I | II | III |
| ELS | a) Humedad.\* | Manchas de humedad, fisuras pequeñas con ancho menor de 0,10 mm. | Fisuras con ancho entre 0,10 mm – 1 mm. Eflorescencia. | Ver e) o f). |
| b) Suciedades y organismos. | Cambio de color de la superficie, acumulación de polvo y tizne. | Moho y hongos | Especies vegetales.  Ver e) o f). |
| ELU | c) Deformaciones\*  (flechas, pandeos, alabeos y/o desplomes). |  |  | Fisuras o agrietamiento sobre todo por corte, aplastamiento o descascaramiento, distorsiones hasta pandeo o fractura de refuerzo longitudinal y/o transversal, desplazamientos residuales y deslizamientos. |
| d) Grietas o fisuras.\* | Fisuras con ancho hasta 0,10 mm. | Fisuras con ancho entre 0,10 mm – 1 mm. | Fisuras con ancho mayor de 1 mm, desprendimiento o abofamiento del hormigón, delaminación del acero, pérdida de adherencia del hormigón con las barras de acero. Exposición del refuerzo longitudinal con pandeo o no de éste, aplastamiento del hormigón. |
| e) Mecanismos de descomposición del hormigón. | Cambio de coloración, erosión de la superficie, fisuras entrecruzadas y/o pequeñas con ancho menor de 0,10 mm, manchas de óxido. | Exposición de agregados y fisuras con ancho hasta 1 mm. | Fisuras con ancho mayor de 1 mm. Desprendimiento o abofamiento del hormigón, delaminación del acero, pérdida de adherencia del hormigón con las barras de acero. |
| f) Corrosión de armadura. |

\*Estos daños patológicos pueden aparecer también en los componentes de la superestructura a causa de problemas en la cimentación (Ver indicación 5 de la etapa I)

Los daños que comprometen el ELU son los que se tendrán en cuenta en la clasificación, los restantes definen las medidas terapéuticas desde la etapa del diagnóstico. A no ser que estos daños se encuentren en los niveles II y III o afecten a más del 50 % de los elementos, y se tengan en cuenta en la clasificación.

La clasificación del daño patológico en los componentes de la superestructura se hace de acuerdo al nivel de afectación y al porciento de superficie afectada del elemento o porciento de la longitud afectada de la junta.

**Leve**: Predomina un buen estado, los daños presentes tienen un nivel de afectación I hasta el 50 % y pueden aparecer puntualmente daños con un nivel de afectación II en menos de 20 % del área del elemento o longitud de junta.

**Moderado**: Existen daños con un nivel de afectación I en más del 50 % de los elementos o juntas; un nivel de afectación II entre 20 - 50 % del elemento o junta; daños con un nivel de afectación III en menos del 20 % del área del elemento o longitud de junta.

**Severo:** Predominan daños con un nivel de afectación II en más del 50 % del área del elemento o longitud de junta; daños del nivel III en más del 20% del área del elemento o longitud de junta.

Como las edificaciones son multiniveles, se recomienda definir y cuantificar los daños patológicos en cada componente de la superestructura por cada nivel. Luego se cuantifica en toda la edificación para así definir por cada tipo de componente la clasificación del daño patológico.

Si en un tipo de componente de la superestructura, convergen varios tipos de daños, se hace la clasificación de acuerdo al daño que se tome como representativo. Para definir el daño representativo hay que analizar el de mayor nivel de afectación o el que afecta al mayor porciento del componente, tomando la puntuación mayor. En caso de que coincidan daños con iguales niveles de afectación y porciento del componente afectado, estos van a incidir de igual manera, y cualquiera de ellos puede ser el representativo.

La clasificación del daño patológico en la cimentación se realiza de acuerdo a los daños observados en la superestructura (en caso que se demuestre que es la causa), porque muchas veces los daños en la cimentación no se aprecian directamente.

**Leve**: Si aparecen manchas de humedad puntuales en paneles del 1er nivel, por capilaridad ascendente.

**Moderado**: En caso de apreciarse asentamientos puntuales, grietas verticales en los paneles y/o en las juntas verticales. Manchas de humedad generalizadas.

**Severo:** Desplome y grietas horizontales en los paneles. Penetración de agua.

Cuando se presenten daños patológicos correspondientes a tres o dos clasificaciones, su valoración quedará determinada por las clasificaciones superiores.

En caso de que la edificación no muestre ningún daño patológico en los componentes estructurales, se pasa directamente a la etapa II. Si aparecen daños patológicos en la superestructura, que independientemente de su extensión creen inestabilidad y/o existen asentamientos generalizados en la cimentación, la clasificación de los daños patológicos en los componentes estructurales, deben tomarse como severos.

Si los paneles transversales exteriores del 1er y 2do nivel estructural y/o las juntas verticales entre ellos, presentan daños patológicos que comprometen el ELU, la clasificación del daño patológico en los paneles y/o las juntas verticales, quedará determinada para una categoría superior en relación a la que se obtenga al aplicar el procedimiento.

**4. Conclusiones**

1. Los daños patológicos deben ser considerados como un síntoma del proceso patológico, con diferentes niveles de afectación estructural y que provocan reducción de las prestaciones técnicas. Pueden aparecer por causas intrínsecas o extrínsecas tanto mecánicas, químicas, físicas o biológicas, incluso las combinaciones de ellas. Igualmente se originan en cualquier etapa del proceso constructivo o explotación de la estructura.
2. En la evaluación de los daños patológicos, deben valorarse todos los que comprometan la respuesta de la estructura ante un sismo, y ponderarse no solo de acuerdo al tipo de elemento estructural afectado, sino también según el tipo de daño patológico, su repercusión y el porciento de afectación.
3. El conjunto de ítems que contempla el procedimiento como las clasificaciones de los daños patológicos y los factores de ponderación por componente estructural para evaluar el daño patológico; se validaron a través del Método Delphi.
4. La evaluación del daño patológico, que aporta el procedimiento propuesto, debe integrarse a los restantes aspectos causantes de daños sísmicos potenciales, para así obtener una evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica.

**5. Referencias bibliográficas**

**1-**Álvarez, O. (2002). Patología, Diagnóstico y Rehabilitación de Edificaciones. Monografías. Facultad de Ingeniería Civil. ISPJAE. Ciudad de La Habana. Cuba.

2-Álvarez, O. (2006). Metodología para realizar el estudio de diagnóstico para la rehabilitación estructural de forjados planos de madera en edificaciones ubicadas en el Centro Histórico de la Habana. (Tesis de doctorado no publicada, CUJAE, Cuba).

3-Álvarez, E. R., (2012). Metodología Avanzada para Mitigar Daños Sísmicos en Edificios. Editorial Académica Española, Sarbruecken, Alemania, Número 15649, ISBN 978-3-659-05159-3. <http://www.eae-publishing.com>.

4-Aguirre, A.M. y Mejías, R. (2013). Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas. Materiales de Construcción, 63(309), 7-38. ISSN: 0465-2746 eISSN: 1988-3226 doi: 10.3989/mc.2013.00313.

1. Applied Technology Council (2005). Field manual: Postearthquake safety evaluation of buildings (ATC 20-1)
2. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2009). Requisitos Sísmicos para Edificaciones (Norma AIS 100-09).
3. Bal I, Gulay F, Tezcan S. (2008). A new approach for the preliminary seismic assessment of RC buildings: P25 Scoring Method. In: Proceedings of 14th WCEE. p. 12–7.
4. Benedetti D., Petrini V. (1984), Sulla vulnerabilitá sísmica di edificiin muratura: Proposte di un método di valutazione, L’industria delle Costruzioni, 149, 66-78, Roma, Italia.
5. Bermejo, E.B. (2009). Dosificación, propiedades y durabilidad en hormigón autocompactante para edificación. (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid). Recuperado de <http://oa.upm.es/1733/>
6. Bermúdez, M.A. (2007). Corrosión de las armaduras del hormigón armado en ambiente marino: Zona de carrera de mareas y zona sumergida. (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid). Recuperado de <http://oa.upm.es/885/>
7. Bossio, A., Biondi, E., Faella,G., Frunzio, G. (2021). Evaluation of degradation of about 20-years-old precast concrete. A case study. En: XVII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de las Construcciones. Fortaleza, Brasil, junio 3-5. https://doi.org/10.4322/CINPAR.2021.054
8. Cardona, O. D. y Hurtado, J. E. (1990). Propuesta metodológica para los análisis de vulnerabilidad. Informe de Consultoría Proyecto UNDRO / ACD / ONAD. Para la mitigación de riesgos en Colombia. Santiago de Cali: Inédito.
9. Carreño, A.D. (2015). Estudio de la prefabricación en concreto reforzado y su influencia en la construcción de estructuras en Colombia. (Tesis de maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá D.C, Colombia). Recuperado de <https://repositorio.escuelaing.edu.co>
10. Caxanovas, X. (2007) Método RehabiMed. Arquitectura Tradicional Mediterránea II. Rehabilitación El edificio. ISBN: 84-87104-76-2
11. Chávez, E., Pérez, T., Reyes, J., Corvo, F. (2013). Deterioro de estructuras de concreto por carbonatación en medio ambiente marino tropical y cámara de carbonatación acelerada. Revista Técnica de Ingeniería de la Universidad de Zulia, 36, (2), 104 – 113
12. Contreras, F. (2017). Validación de escorias de horno de arco eléctrico mediante su uso como adición en hormigón. (Tesis Doctoral, Universidad de Málaga, España). Recuperado de <http://orcid.org/0000-003-4720-6594>.
13. Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres CONRED. (2015). Guía técnica del proceso de evaluación rápida de daños en vivienda. Guatemala.
14. Del Río, A. (2008). Patología, reparación y refuerzo de estructuras de hormigón armado de edificación. Recuperado de: www. oa.upm.es/1159/1/LIBRO\_RIO\_BUENO\_01.pdf
15. Dirección General de Protección Civil – Vice Ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano. (2008). Manual de Evaluación Post - Sísmica de Edificaciones de El Salvador.
16. Emmons, P. (2005). Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento del Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. México. ISBN: 968-464-15-145-1
17. Ercolani, G., Ortega, N., Felix, D. (2017). Metodologías para la localización de daño en vigas de hormigón pretensado. Revista ALCONPAT, 7 (3), pp. 262-273, DOI: http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i3.240
18. Federal Emergency Management Agency. (2015). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook (FEMA 154). Washington, DC: U.S
19. Fernández, S. (2016). Corrosión de armaduras en el hormigón armado en ambiente marino aéreo. (Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, España). Recuperado de <http://oa.upm.es/39374/1/>
20. Gaceta Oficial del Distrito Federal. (2017). Normas para la Rehabilitación Sísmica de edificios de concreto dañados por el Sismo del 19 de septiembre de 2017. <https://www.cmiccdmx.org/.../normas-de-rehabilitación-sísmica-de-edificios-04-12-17>
21. García, L.E. (2007). Prefabricación de estructuras en zonas sísmicas. El caso de Colombia. En: En: 3er Congreso Internacional de Prefabricados de Concreto. Plaza Mayor Medellín, Colombia, septiembre 5-7.
22. Ghosh, S.K. (2015). Los prefabricados y los sismos.http://www.imcyc.com/cyt/prefabricados.htm
23. Helene, P y Pereira, F. (2007). Rehabilitación y mantenimiento de estructuras de concreto. Sao Paulo: SP Brasil.
24. Hirosawa, M. (1992). Retrofitting and Restoration of Buildings in Japan, IISEE Lecture Note of Seminar Course. Tsukuba, Japan.
25. Hurtado (2014) Hurtado, E. (2014). Fichas de lesiones típicas de daños por terremotos en inmuebles. Chile arquitectura.mop.cl/Patrimonio/Documents/FICHAS\_DE\_LESIONES\_2014.pdf
26. Husni, R., Benítez, A., Manzelli, A., Macchi, C., Charreau, G., Fernández, L. y Guitelman, N. (2007). Acciones y Mecanismos de Deterioro de las Estructuras. En: Fernanda Pereira (Ed.) Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto (35-89). Sao Paulo: SP Brasil
27. Iglesias, J. (1989). Evaluación de edificios de concreto en la Ciudad de México. Revista de Ingeniería Sísmica, 35, pp.33-54. Recuperado de http://smis.m x/index.php/RIS/issue/view/89
28. Instituto Nacional de la Vivienda. (1991). Procedimiento para determinar el estado técnico de la vivienda. La Habana, Cuba.
29. Karapetrou S, Fotopoulou S, Pitilakis K. (2017). Seismic vulnerability of RC buildings under the effect of aging. Procedia Environ Sci,38, 461–468.
30. Mahmoud (2009), Mahmoud, T. (2009). Evaluación de la degradación de prefabricados de hormigón sometidos a ambientes marinos mediantetécnicas no destructivas y análisis físico químico. (Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia, España). Recuperado de <https://riunet.upv.es>
31. Márquez (2015) Márquez, F. (2015). Mecanismos de Biodeterioro del Concreto Reforzado. En: II Semana Internacional. X Semana de Ciencia, Tecnología e Innovación. Santander, Colombia, 20 -23 de octubre.
32. Ministerio de Obras Públicas. (2014). Ficha de evaluación de daños para inspección rápida de edificios públicos. Versión 2 Sub Departamento de Ingeniería y Construcción. Chile
33. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2016). Inspección y Evaluación Rápida de Estructuras Post-Evento Sísmico. Primera edición, ISBN: 978-9942-951-44-1, Quito, Ecuador.
34. Ministerio de la Construcción de Cuba. (2016). Metodología para categorizar el estado técnico, vulnerabilidad y riesgos de edificaciones.
35. Molina, M. (2005). Comportamiento de estructuras de hormigón armado con una deficiente transferencia de tensiones hormigón-acero. Análisis experimental y propuesta de un modelo de evaluación estructural. (Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid) Recuperado de: <http://oa.upm.es/326>
36. Morán, F. (1993). Estimación de la seguridad residual en estructuras de hormigón con problemas patológicos. En: Jornadas Técnicas sobre Durabilidad y Control de Calidad del Hormigón Armado. Cáceres, 29 y 30 de noviembre
37. Moufit, M, Mohamed, F., Noroozinejad, E. (2020). The seismic vulnerability assessment methodologies: A state-of-the-art Review. Ain Shams Engineering Journal, 11, 849–864
38. Oliva, R., Márquez, P. I., Morejón, G. (2004). Perfeccionamiento de la metodología para la Evaluación de la vulnerabilidad sísmica y la obtención del periodo fundamental de vibración de las construcciones utilizando la vía experimental. (salida 2 Reporte de Investigación). Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Cuba.
39. Piñeiro, R., Gutiérrez, J.P, y Asenjo, V. (2008). Procesos patológicos frecuentes en edificación. Casos de estudio. En: II Jornada de Investigación en Construcción, Madrid, 22 y 24 de mayo.
40. Polyakov, S. (1974). Design of earthquake resistant structures. MIR Publishers, Moscow.
41. Ravelo, G. (2014). Método para proponer los tipos de intervención constructiva de edificaciones ubicadas en zonas con valores culturales. Estudio de caso: Barrio Colón. (Tesis Doctoral no publicada, ISPJAE, La Habana)
42. Rivera de U., I., Grisolia de C, D. y Sarmiento, R. (1985). Metodología para la evaluación pre sísmica de edificaciones existentes. En: Taller Normativa y Seguridad de Construcciones en zonas sísmicas. Caracas.
43. Scarlat, A. (1996). Approximated Methods in Structural Design, E&FNSpon, London
44. Socarrás, Y.C. y Socarrás, M.D. (2016). Patologías en Edificios construidos con el Gran Panel IV en Caimanera. En: Segunda Convención Internacional de Ciencias Técnicas de la Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba, junio 21-24.
45. Socarrás, Y.C. y Vidaud, I. (2017). Desde la tecnología del prefabricado actual hasta la prefabricación contra pedido. Ciencia en su PC, enero-marzo, 104-115. <http://www.redalyc.org/html/1813/181351125008/>
46. Socarrás, Y.C. y Álvarez, E. (2018). Problemática actual de los edificios Gran Panel Soviético en Santiago de Cuba. En: VI Evento La prefabricación en las Construcciones. Cienfuegos, Cuba, noviembre 15-17. ISBN: 978-959-247-176-4
47. Socarrás, Y.C. y Álvarez, E. (2019). Factores causantes de daños potenciales en el Gran Panel Soviético. En: VI Jornada Internacional de Ingeniería Civil. Holguín, Cuba, noviembre 20-23. ISBN: 978-959-247-183-2
48. Socarrás, Y. (2020). Procedimiento para la evaluación de daños sísmicos potenciales en el sistema prefabricado Gran Panel Soviético. (Tesis doctoral inédita). Universidad de Oriente, Cuba.
49. Tejera, P. y Álvarez. O. (2013) Conservación de Edificaciones. Editorial Universitaria. Félix Varela, Habana. ISBN 978-959-07-1611-9
50. Vagheia, R., Hejazia, F., Taheria, H., Saleh, M. and Abang, A. (2014). Evaluate Performance of Precast Concrete wall to wall Connection. In: 2013 5th International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering (ICBEE 2013) and 2013 2nd International Conference on Civil Engineering (ICCEN 2013). p.285 – 290