



Metodología para el proceso de modelación de la relación capilaridad-deterioro en edificaciones

Methodology for modeling the process of the capillarity-deterioration relationship in buildings

Mayelín González Trujillo, Eduardo Beira Fontaine, Odalys Álvarez Rodríguez y Elio Quiala Ortiz

RESUMEN: En este artículo se describen los resultados de una investigación que trata sobre la relación capilaridad-deterioro en edificaciones, partiendo del análisis de las metodologías existentes, bajo un enfoque sistémico. Tuvo como objetivo, la propuesta de una metodología que vinculara los métodos tradicionales de estudios de humedad por capilaridad con los de modelación espacial de escenarios de peligro y vulnerabilidad, para determinar el modelo de escenarios de deterioro generado por este tipo de humedad, mediante la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se aplicaron métodos teóricos y empíricos, dentro de los cuales se destaca la introducción de un método de modelación espacial del proceso. Como resultado, se propone una metodología que permite obtener: la modelación espacial y la correlación de las variables significativas que intervienen en la relación capilaridad-deterioro, así como los modelos espaciales de los escenarios de peligro, vulnerabilidad y deterioro.

PALABRAS CLAVE: humedad por capilaridad, escenarios de deterioro, modelación espacial, SIG.

ABSTRACT: This article describes the results of an investigation concerning the capillarity-deterioration relationship in buildings by starting from the systematic analysis of existing methodologies. A primary goal links the traditional methods of humidity studies due to capillarity with those of space modeling of scenarios of danger and vulnerability. In turn, the work reveals a pattern of scenarios of deterioration generated by this type of humidity, by using GIS (Geographical Information Systems). Theoretical and empirical methods were applied, highlighting the introduction of a method of spatial modeling and identifying significant variables in the capillarity-deterioration process, as well as danger, vulnerability and deterioration models.

KEYWORDS: humidity capillarity, sceneries of deterioration, space modelling, GIS.

Introducción

El agua en la naturaleza, puede ser devastadora en las edificaciones cuando se comporta en forma de humedad; este es el caso del efecto del fenómeno de humedad por capilaridad o humedad por absorción capilar, la cual constituye una amenaza constante para los edificios, hasta el punto de provocar, en muchos casos, su destrucción [1].

En el origen de este fenómeno intervienen variables ambientales como las hidroclimáticas y del suelo; estas al combinarse con las típicas de la edificación, incrementan el deterioro y dan lugar a la presencia de una relación de capilaridad-deterioro, que deja a la edificación totalmente vulnerable.

Ante esta situación, se hace necesario adoptar medidas para evitar que se produzcan daños debido a esta relación; de ahí surge la necesidad de conocer cuáles son los escenarios de actuación del deterioro por efectos del fenómeno de la humedad por capilaridad en un área geográfica determinada, lo cual permitirá contar con elementos que garanticen una adecuada intervención.

Esta investigación tiene como objetivo, confeccionar una metodología que integre los métodos tradicionales de estudios de humedad por capilaridad con los de modelación espacial de escenarios de peligro y vulnerabilidad, para determinar el modelo de escenarios de deterioro generado por este tipo de humedad, mediante la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Esta metodología además de garantizar el análisis espacial y la correlación del comportamiento de las variables significativas que influyen en el proceso, permite realizar el monitoreo y control de las mismas. Este modelo proporcionará una herramienta clave en la gestión del deterioro, en función de la conservación de las edificaciones afectadas por la relación capilaridad-deterioro.

Materiales y métodos

Factores que intervienen en el fenómeno de humedad por capilaridad

El fenómeno, según la literatura consultada, se conoce internacionalmente como humedad por capilaridad o humedad capilar, aunque existen investigadores nacionales [2] [3] que la denominan como absorción de agua por capilaridad. En esta investigación se adoptó el término internacional.

Diferentes autores [4] [5] [6], plantean que este fenómeno se produce en los materiales que componen los cimientos, paredes y pisos, cuando están en contacto con el agua contenida en el suelo en algún punto. Esta condición es decisiva en la manifestación del fenómeno debido a que las fuerzas de ascensión del agua pueden ser influyentes, dependiendo de las características hidrogeológicas del terreno (figura 1).

En una edificación, la capacidad de ascender de un líquido, depende de sus propiedades intrínsecas, de las características del material que conforman las paredes de los capilares, su diámetro y la temperatura, la cual se relaciona con la viscosidad del fluido, según lo planteado en la ley de Jurín [3]. Es evidente que estos factores constituyen la esencia del comportamiento del fenómeno en tubos lisos, pero en el caso de las edificaciones, este fenómeno se encuentra sometido a la acción del entorno. Ahora bien, el comportamiento físico del mismo deja claro que en él intervienen otros factores que lo modifican y que deben ser considerados en este estudio, por el papel que desempeñan en el proceso de deterioro que se genera en las edificaciones.

1. BARRIOS SEVILLA, Jesús; MENA ANISI, Antonio; VALVERDE ESPINOSA, Ignacio; BARRIOS PADURA, Ángela; POLO VELASCO, Jorge: "Estudio de la iglesia de San Miguel de Morón (Sevilla). Influencia de los cambios de humedad en la estabilidad del monumento". *Informes de la Construcción*. [en línea] 1999, Vol. 51, núm. 463, p. 57-65. [Consulta: 12 de enero de 2012]. Disponible en: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/865/949>
2. PÉREZ ECHAZÁBAL, Lucrecia. "Influencia del medio ambiente en la patología de los monumentos de alto valor histórico construidos con materiales pétreos naturales. Centro histórico de La Habana". Tesis de doctorado. Director: Pedro Tejera Garofalo. Facultad de Arquitectura. ISJAE. La Habana, 2000.
3. ÁLVAREZ RODRÍGUEZ, Odalys: "Patología, Diagnóstico y Rehabilitación de Edificaciones". En: *Monografías CUJAE*. La Habana: ISPJAE, 2003.
4. DE BEDENETTI, Gabriel: "Humedades capilares en muros". En: *uruguaytotal.com*. [en línea]. Uruguay, 2007. [Consulta: 12 de mayo de 2010] Disponible en: <http://buscar.uruguaytotal.com/cgi-bin/uytotal.cgi?cs=iso-8859-1&q=consulta&ch=http%2F%2Fwww.arquitecto.com.uy%2Farticulos%2Fa08.php&fm=off>
5. GARCÍA MORALES, Soledad. *Reconocimiento de los tipos de humedad: causas y lesiones producidas*. [en línea]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2005. [Consulta: 20 de junio de 2011]. Disponible en: <http://www.rehabimed.net/.../2a%20Parte.%20Herramienta%206.pdf>
6. UNIVERSIDAD DE VALLADOLID. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA. *Patología de fachadas urbanas*. Valladolid: Universidad de Valladolid. E. T. S de Arquitectura. Departamento de Construcciones, 1990. pp. 445. ISBN 84-86192-89-7.

Concerniente a estos factores Álvarez [3], García [5] y Prone [7], plantean que la profundidad del nivel freático y el tipo de suelo son determinantes; este último, establece el contenido de humedad y la altura del estrato capilar. Además, no se pueden dejar de mencionar la influencia de la incidencia de la radiación solar y los vientos, la humedad relativa y la temperatura, factores que influyen en la evaporación de la pared o muro.

González *et al* [8] demuestran que la altura capilar y el grado de humedad que alcanza una pared o muro en una edificación afectada por este fenómeno, no solo depende de los factores propios de la edificación (tipo de material, técnicas y época de construcción) y de las características físicas del agua, sino también de los factores ambientales que envuelven la edificación. Estos autores incluyen en el análisis, la acción de las precipitaciones en la cuenca hidrográfica influyente. Esto implica una estrecha relación con las características climáticas e hidrogeológicas de la cuenca hidrográfica tributaria, consideradas variables o factores desencadenantes del fenómeno. En el caso de Cuba por las características climáticas de isla tropical, el análisis de las variables ambientales es determinante en los estudios del fenómeno de humedad por capilaridad.

A partir de lo antes referido, esta investigación considera de manera general el análisis de los factores que intervienen en el fenómeno de humedad por capilaridad, propuestos por investigadores como Álvarez [3], García [5], Prone [7] y González *et al* [8] y realiza las formulaciones metódicas específicas, definiendo las variables válidas para acometer el estudio del fenómeno de humedad por capilaridad.

De este modo los factores que intervienen en el fenómeno de humedad por capilaridad son los siguientes:

a) Variables propias de la edificación, las cuales incluyen los factores intrínsecos que dependen de la tipología constructiva y arquitectónica;

b) Variables ambientales o factores extrínsecos que dependen del entorno, tales como los hidrogeológicos y climáticos.

a) Variables propias de la edificación

Serelacionan con el diseño y los elementos que componen la edificación, estas son: tipo de material, técnicas de construcción y época de construcción.

El tipo de material de construcción es determinante en el comportamiento de la humedad por capilaridad, porque establece el valor de la porosidad y el diámetro capilar, factores que permiten determinar la altura capilar y la extensión del área de afectación en la que se producirá el proceso de deterioro.

En este caso el comportamiento de la altura capilar en los distintos materiales de construcción está dado por la composición de las distintas materias primas y las diferentes técnicas de manufactura, las cuales poseen capilaridad y niveles de absorción diferentes, en correspondencia con el coeficiente de porosidad de los mismos.

Técnicas de construcción: esta variable determina la combinación de los materiales que componen el módulo del elemento constructivo (muro o columna), es decir, la combinación del material principal con el mortero en el revestimiento; este módulo establece el comportamiento del valor de los diámetros capilares y la porosidad de estos materiales en su relación con la altura capilar.

En el estudio del fenómeno de humedad por capilaridad, la combinación de tipos de materiales es una variable determinante, pues cada técnica posee características que establecen el comportamiento de la relación entre el agua absorbida/agua evaporada en un determinado entorno. En

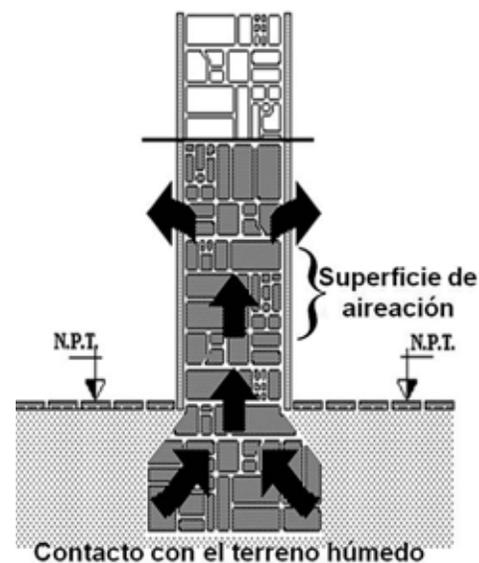


Figura 1: Esquema del movimiento del fenómeno de humedad por capilaridad en un elemento constructivo. Fuente: Pérez (2000).

7. PRONE, Pablo Andrés. "Proceso para interpretación patológica en las edificaciones". En: *Patología de los Materiales de Edificios de Valor Patrimonial*. Tesis de doctorado. Director: Guillermo García. Buenos Aires, Centro Internacional para la Conservación del Patrimonio, 2005.
8. GONZÁLEZ TRUJILLO, Mayelin, BEIRA FONTAINE, Eduardo, ÁLVAREZ RODRÍGUEZ, Odalys y LÓPEZ ARIAS, Elsi: "Variables ambientales y la relación capilaridad-deterioro: viviendas coloniales del centro histórico de Santiago de Cuba". *Arquitectura y Urbanismo*, [en línea]. 2013, Vol. 34, No 3, p. 49-66, ISSN 1815-5898. [Consulta: 20 de septiembre de 2013]. Disponible en: <http://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau/article/download/263/239>

una edificación se debe garantizar la eficiencia de las distintas técnicas constructivas que se apliquen, en relación con la capacidad de evaporación de los materiales que componen un módulo de construcción, teniendo en cuenta que la dosificación y espesores de los morteros de junta o de revestimiento, garanticen un alto porcentaje de la evaporación del muro, lo que disminuiría la altura capilar y los efectos de la lesión (figura 2). Las razones anteriores llevaron a los autores a considerar de manera integrada dichas variables, denominándolas como: tipo modular de material de construcción.

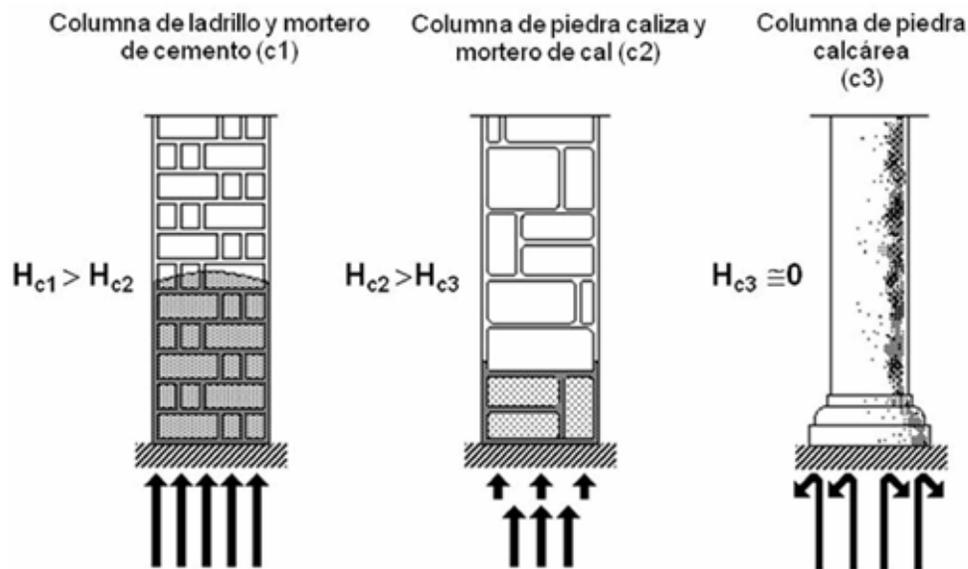


Figura 2: Esquemas que muestran el comportamiento de la altura capilar para diferentes tipos modulares de material de construcción. Fuente: Pérez (2000).

Época de construcción; esta variable permite conocer el tipo de técnica y materiales de construcción empleados según la época en que se realizó la construcción.

b) Variables ambientales

Las variables hidroclimáticas y del suelo, son las encargadas de mantener el movimiento o transferencia de las masas de agua de un sitio a otro y de un estado a otro. Dentro de las variables hidroclimáticas intervienen (precipitaciones, temperatura, humedad relativa, incidencia de los vientos y radiación solar) y del suelo (relieve, tipo de suelo, humedad del suelo y nivel freático).

Precipitaciones: en el análisis de esta variable se debe considerar su comportamiento en toda la cuenca, ya que si el tipo de suelo y el relieve son favorables, grandes caudales de agua pueden alcanzar puntos lejanos en poco tiempo, produciendo modificaciones en los estratos con aguas dispersas, que originan bolsas con presiones fuertes, que se pueden confundir con los efectos del nivel freático. La diferencia radica en que este es temporal y coincide con los períodos de lluvias.

Otro efecto de esta variable está dado por su relación directa con el aporte que realiza a la elevación del nivel freático, por tal razón, es importante establecer un monitoreo.

Temperatura: esta variable contribuye al aumento del deterioro en la edificación cuando se producen oscilaciones térmicas significativas. La temperatura contribuye en la evaporación del elemento afectado, de ahí la necesidad de establecer su control.

Humedad relativa: cuando esta humedad sobrepasa el 70 %, se considera un peligro de deterioro, porque mantiene altos niveles de humedad, que favorecen a la formación de microorganismos y no permite la evaporación del elemento afectado.

Las fuertes fluctuaciones alrededor de (30-94 %) de humedad en un día, provocan el proceso de humectación y secado. Este proceso genera fuerzas adicionales que promueven el desprendimiento y disgregación del revestimiento en las paredes. Por tanto, esta variable, también necesita ser controlada.

Incidencia de los vientos y la radiación solar: estas variables influyen directamente, junto con la temperatura, la humedad relativa y la porosidad del material, en el comportamiento de la evaporación del elemento afectado.

La incidencia de estas variables depende del relieve de la zona o topografía del mismo, pues en un terreno ondulado, existirán áreas más soleadas y ventiladas que otras, por lo que su estudio se hará a través de la orientación de la fachada.

Nivel freático: esta variable es la causa fundamental del origen de la humedad por capilaridad, porque es una fuente constante de agua y humedad en contacto con los cimientos de la edificación.

El nivel freático en una edificación es una variable peligrosa, ya que implica la presencia constante de agua con presión actuando sobre las partes enterradas del edificio.

Se describen tres tipos de solicitaciones en las que puede presentarse la proximidad del nivel freático en los cimientos enterrados de una edificación [5]:

- freática pura, es el resultado de hincar el cerramiento o cimentación hasta el mismo nivel freático.
- capilaridad pura, la cimentación o el muro se hincan en el estrato capilar, que solo tiene agua retenida por capilaridad, sin presión.
- debido al terreno solamente húmedo, se trata de un caso frecuente, pues todo terreno posee un cierto grado de humedad, producto al agua que evapora, desde un estrato mojado hacia la atmósfera, al agua de lluvia percolada¹ y al agua remanente en el terreno, originada en fugas, riegos, etc. Este caso es el menos peligroso para la edificación.

Tipo de suelo y roca: es una variable importante en el fenómeno, pues en dependencia del tipo de suelo, será el contenido de la humedad en el mismo y el espesor del estrato capilar. Existen terrenos poco capilares, cuya zona mojada tiene poco espesor (terrenos de grano grueso y huecos superiores a 0,5 mm), mientras que los de poros finos (suelos finos), contienen agua a lo largo de varios metros de altura. Esta característica de los suelos, hace que las edificaciones sean más vulnerables al fenómeno de humedad capilar cuando están ubicadas en suelos finos. Por esta razón es muy importante identificar y clasificar los perfiles del suelo en este tipo de investigación.

Humedad del suelo: es una variable que depende de las características del tipo de suelo y la profundidad del nivel freático. Los valores de la humedad del suelo, suelen oscilar de acuerdo con la textura del suelo en torno al 5 % para gravas y arenas, y hasta el 50 % para terrenos de grano fino y cohesivos (arcillas).

Resulta menester precisar que la selección de estas variables estuvo condicionada por el papel que desempeñan en la manifestación del fenómeno de humedad por capilaridad y que el análisis de las mismas permite establecer la relación que existe entre la edificación y el entorno,

¹ Es el agua que se filtra a través de la superficie de la tierra y queda retenida por ella.

relacionadas en un contexto geográfico. Este análisis resulta eficaz para entender el comportamiento espacial del fenómeno y aporta criterios para la determinación de los deterioros asociados a él.

Tendencia histórica de los estudios de humedad por capilaridad

A finales del siglo XX comienzan a manejarse los términos del enfoque sistémico en los estudios de diagnóstico [9], donde se incluye la influencia de los factores ambientales, en las causas de aparición de las lesiones en las edificaciones [10]. A principios de este siglo, esta tendencia toma auge y se comienzan a considerar los procesos o fenómenos como sistemas en constante interacción con el medioambiente, estableciendo el enfoque sistémico [5] [7] [11] [12] [13]. Este enfoque considera al objeto como parte de un todo; su estudio centra el interés en su función y admite explicar y obtener el entendimiento de los fenómenos. En este caso en particular, permite la interpretación del fenómeno de humedad por capilaridad en su integración con el entorno.

En el ámbito internacional se destacan autores que proponen procedimientos y metodologías, que utilizan el enfoque sistémico en el diagnóstico de las lesiones. Es el caso de García [5], en España, quien enfatiza en el estudio del fenómeno de humedad por capilaridad y plantea la necesidad de conocer y describir las sollicitaciones hídricas a las que el conjunto de edificios y sus elementos están sometidos, proponiendo la realización de estudios geotécnicos.

En Argentina, Prone [7] hace una propuesta metodológica que incluye enfoques interdisciplinarios en el estudio de las patologías de las edificaciones en su real complejidad, centrando el estudio en la humedad por capilaridad. Este autor plantea la necesidad de realizar el análisis integrado de las variables del entorno y la edificación, pero no deja claro un mecanismo para realizar este análisis integral.

En Cuba también existe la tendencia de aplicar el enfoque sistémico en el estudio de las patologías, lo que se refleja en investigaciones desarrolladas en el centro histórico de Camagüey [9]; en La Habana [2], [3], [14], [15], [16] y en Santiago de Cuba [11] [17]. En estas investigaciones se trabaja en propuestas metodológicas para el diagnóstico de las lesiones, las cuales resaltan la importancia del estudio de la incidencia de las variables del entorno en el proceso patológico, pero también carecen de elementos que permitan hacer un análisis integral.

A partir de lo antes referido, se puede plantear como positivo, la tendencia en la búsqueda del entendimiento del fenómeno a través del enfoque sistémico y la abogacía por la integración de las variables; pero es evidente que existe un vacío en la aplicación de mecanismos que den respuesta al enfoque sistémico, que permitan lograr realmente la integración de todas las variables, asunto este muy necesario en el estudio del fenómeno de humedad por capilaridad.

Peligro y vulnerabilidad en el deterioro por efectos del fenómeno de capilaridad

El estudio integrado de las variables que intervienen en el fenómeno de humedad por capilaridad permite contribuir al entendimiento del fenómeno. Al analizar la acción conjunta de estas variables, se detectan puntos o niveles de actuación de las mismas, que muestran cuán vulnerables pueden ser las edificaciones y si están sometidas al peligro de producirse el fenómeno. El conocimiento de estos elementos permitiría determinar los factores que inciden y provocan el deterioro.

9. AVILÉS, Diana: "Enfoque sistemático de la contaminación del centro histórico. El caso Camagüey". Tesis de doctorado. Director: Adolfo Alonso González. ISPJAE Facultad de Arquitectura, La Habana, 1995.
10. GARCÍA MORALES, Soledad. "Metodología de diagnóstico de humedades de capilaridad ascendente y condensación higroscópica, en edificios históricos". [en línea]. Tesis Doctoral. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, 1999. [Consulta: 22 de septiembre de 2012]. Disponible: http://oa.upm.es/10159/1/SOLEDAD_GARCIA_MORALES.pdf
11. LÓPEZ ÁRIAS, Elsi María. "Comportamiento de las lesiones y estado actual de las viviendas coloniales en el Centro Histórico de Santiago de Cuba". Tesis de doctorado. Director: Pedro Tejera Garófalo. Universidad de Oriente. Facultad de Construcciones, Santiago de Cuba, 2004.
12. LARA CALDERÓN, M. L.: "Centros Históricos". En: *Arqa.com. Arquitectura Argentina*, 2004. [Consulta: 26 de abril de 2011]. Disponible en: <http://arqa.com/academico/centros-historicos.html>
13.] TROITIÑO VINUESA, M. Á.: "La protección, recuperación y revitalización funcional de los centros históricos". *Mediterráneo Económico*. [en línea]. 2003, no. 3, pp. 13-160. [Consulta: 26 de abril de 2011]. Disponible en: www.acibu.com/wp-content/uploads/2008/06/me0308-1.pdf
14.] TEJERA GARÓFALO, Pedro. *Introducción a la Patología de las Edificaciones*. La Habana: ISPJAE, 2000. Folleto del Curso impartido en la Maestría Conservación y Rehabilitación del Patrimonio Construido.
15. RIVADA VÁZQUEZ, María Luisa: "Pérdidas de agua provocan pérdidas de energía eléctrica y deterioro de las edificaciones". En: *VII Conferencia Científico-Técnica de la Construcción*. La Habana: UNAICC, 2006.
16. DE LA PEÑA GONZÁLEZ, Ana María y RAMÍREZ LI, Ramón: "Influencia del medio ambiente en el deterioro de las edificaciones". En: *Curso de la Maestría de conservación. Centro Nacional de Conservación, Restauración y Museología* La Habana: CENCREM, 2011.
17. BUENO RISCO, Kyra y QUEROL PAULTRE, Liana: "Caracterización de la humedad en las viviendas eclécticas del Centro Histórico de la Ciudad de Santiago de Cuba". *Arquitectura y Urbanismo*, [en línea]. 2013, Vol. 34, No.1 ISSN: 1815-5898. [Consulta: 20 de junio de 2013]. Disponible en: <http://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau/article/download/226/220>

Es necesario identificar entonces, las zonas de peligro en función de las variables ambientales en un área geográfica definida por la incidencia de las mismas y las vulnerabilidades que presentan las edificaciones, para conocer la relación que existe entre la acción natural y la respuesta tecnológica, con el fin de obtener el conocimiento que permita realizar una adecuada intervención en función del contexto en que se produce el deterioro.

¿Se puede considerar el fenómeno de humedad por capilaridad en la edificación como una amenaza? Existen autores [18] [19] que consideran la amenaza como la probabilidad de que un fenómeno natural se produzca en un tiempo y zona determinada. En el caso de una edificación, este fenómeno se considera como una amenaza constante producida por factores ambientales que al relacionarse generan peligro. Pero no se puede hablar de peligro sin mencionar la vulnerabilidad, que es la condición propicia de la población (en este caso la edificación) de sufrir pérdidas o resultar afectadas por la materialización de una amenaza; de manera que las condiciones de peligro y vulnerabilidad, pueden modificar una situación de deterioro, o lugares de deterioro (escenario de deterioro).

Analizando estos conceptos, se puede concluir que las metodologías antes expuestas carecen de mecanismos que permitan aplicar el enfoque sistémico. Es decir, que den la posibilidad de hacer el análisis del comportamiento integral de las variables que intervienen en la relación capilaridad-deterioro en edificaciones, analizando su comportamiento espacial en la dinámica del medio que ocasiona el peligro y la vulnerabilidad, a partir de lo cual se puedan identificar los factores desencadenantes o variables significativas que modifiquen el deterioro y de esta manera accionar sobre las mismas, garantizando un manejo adecuado en las técnicas de conservación.

Resultados y discusión

Metodología para el proceso de modelación de la relación capilaridad-deterioro en edificaciones

Para el análisis del comportamiento integral y espacial de las variables que intervienen en la relación capilaridad-deterioro, este trabajo propone una metodología que introduce el método de modelación espacial, utilizando un Sistema de Información Geográfica.

La metodología se compone de tres etapas de trabajo: la de indagación patológica, la de identificación de escenarios y la de modelación del peligro y la vulnerabilidad (figura 3).

En la misma se propone utilizar para la modelación espacial los Sistemas de Información Geográfica (SIG); este modelo trabaja con múltiples variables, que generan un gran volumen de datos georeferenciados que deben ser procesados y almacenados ordenadamente, con rapidez de procesamiento y actualización de los mismos, así como la combinación y representación gráfica de ellos, incluyendo el procesamiento de múltiples fases del modelo que permitan la superposición de mapas y la obtención de un mapa general que englobe las características de todos, con una rápida operabilidad de la información.

La primera etapa; de indagación patológica, encierra el proceso de contextualización de la lesión de humedad por capilaridad y las variables que intervienen en el proceso. En esta etapa se obtiene como resultado toda la información necesaria para caracterizar las variables que intervienen en el proceso.

18. IBARRA TURCIOS, D. *Centro América: Una región de múltiples amenazas y alta vulnerabilidad*. San Salvador: UNES, 2000.
19. CARDONA OMAR, D. A. *Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. Elementos para el Ordenamiento y la Planeación del Desarrollo*. Bogotá: Red de estudios sociales en Prevención de desastres en América Latina, 2004.

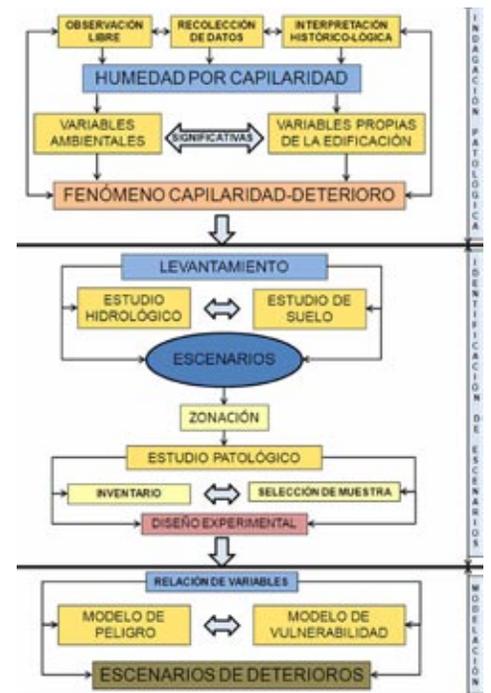


Figura 3: Esquema gráfico de las etapas que componen el proceso de modelación de la relación capilaridad-deterioro en edificaciones.

La segunda etapa; de Identificación de escenarios, marca el proceso de zonación² e identificación de los escenarios de actuación de las variables ambientales, los que son calibrados con los resultados del levantamiento y el diseño experimental. Se obtienen como resultado los modelos digitales y mapas temáticos de las variables ambientales, el levantamiento y análisis técnico de la lesión, la selección de la muestra de estudio, el resultado del diseño de experimento y el monitoreo de la variable nivel freático.

La tercera etapa; de modelación, encierra el proceso de determinación de los modelos espaciales de escenarios de peligro, vulnerabilidades y deterioro, a través de la correlación entre las variables significativas. Se obtiene como resultado el análisis estadístico de las variables significativas que permiten determinar la correlación entre ellas y los modelos matemáticos explicativos para clasificar las categorías de peligro y vulnerabilidades, así como los modelos espaciales de escenarios de actuación de peligro, vulnerabilidad y deterioro de las edificaciones afectadas en la zona de estudio.

Es necesario aclarar que este método es general y está diseñado para que se pueda aplicar a cualquier situación y condición ambiental de una determinada área geográfica.

A continuación se describen los pasos a seguir en cada etapa:

Etapa de indagación patológica: En esta se consideran aspectos metodológicos propuestos por Prone [7], en la primera etapa de su metodología.

1. Realizar la recolección de datos referidos al tema, con el objetivo de identificar el problema y caracterizar la magnitud del fenómeno de humedad de capilaridad, a través del análisis bibliográfico y datos históricos recolectados, para caracterizar el fenómeno. Esta etapa contempla los siguientes aspectos:

a) Búsqueda y procesamiento de información sobre las características particulares de la zona, planos topográficos y urbanísticos de la zona en escala 1: 25 000 y 1: 2000.

b) Búsqueda y procesamiento de los datos meteorológicos que tributan a la zona, en estaciones meteorológicas.

c) Búsqueda y procesamiento de estudios técnicos de suelos realizados en la zona y en áreas aledañas.

2. Realizar una interpretación histórica-lógica de la realidad de las edificaciones en su interacción con el entorno y su deterioro, donde se analiza la información previa necesaria, para identificar las variables ambientales que intervienen en la relación capilaridad-deterioro, (del entorno y propias de la edificación), con el objetivo de definir la profundidad del estudio a realizar según la base contextual obtenida.

3. Caracterizar las variables ambientales, a través de un proceso de inducción de la situación del entorno y el estado de las edificaciones, conformando un primer análisis para identificar aquellos indicios sobre las causas y efectos de la relación capilaridad-deterioro.

Etapa de Identificación de Escenarios

1. Confeccionar por variables, bases de datos preliminares georeferenciadas, en función a dos tipos de estudios (hidrológico y del suelo), organizadas en una serie cronológica de tiempo, para los períodos (lluvioso y seco).

2. Realizar una zonificación o modelación preliminar en el sistema de información geográfica (SIG) y procesar la información para determinar el comportamiento de las variables del entorno e identificar los escenarios de actuación.

² Distribución espacial de una variable en un área geográfica.

3. Analizar los escenarios de actuación por variable ambiental, e identificar el área donde se manifiestan los valores de variables que representen mayor peligro. Realizar una zonación para establecer el grado de estudio de los mapas, el nivel de confiabilidad y la selección de las escalas de trabajos, que garanticen el ajuste necesario de las bases de datos.

En este caso, se propone el Nivel 3 (zonación detallada), la cual según Fernández [20] se utiliza para investigaciones especiales con muy alto nivel de detalle, donde son necesarias perforaciones y toma de muestras (testigos) para las unidades de suelos y la recopilación de la mayor cantidad posible de datos que permitan tener un conocimiento elevado de las características del entorno y la lesión.

4. Realizar el estudio patológico. Este estudio parte del inventario preliminar del estado de la lesión humedad por capilaridad a nivel de fachada y por lote. El inventario se auxiliará de una plantilla, propuesta por Frías [21] (figura 4), la cual incluye además del inventario de la lesión, entrevistas a los habitantes y usuarios de la zona. En esta técnica se aplica el método de observación libre y de entrevistas, con el fin de enfocar la atención en relación con lo que se pretende evaluar. Con esta información se crea una base de datos georeferenciada por edificación y se realiza la modelación en el SIG del estado de la lesión y las características constructivas de las edificaciones.

5. Seleccionar las muestras de las edificaciones para el estudio de las variables propias, con los criterios de selección siguientes:

a) Edificaciones que conservan su estilo arquitectónico, dejando pasar por alto algunas transformaciones mínimas, las cuales son dirigidas por la Oficina del Conservador de la Ciudad (OCC) en su programa de restauración, tales como: el cambio de cubierta y tratamiento en las fachadas con mortero nuevo.

b) Edificaciones ubicadas en escenarios donde haya mayor influencia de las variables profundidad del nivel freático, así como el tipo y humedad del suelo.

6. Confeccionar el diseño experimental, enfocado en la aplicación de las técnicas de medición y los ensayos que permitan caracterizar las variables seleccionadas, a través del estudio del suelo y del patológico.

Métodos de ensayos

Se deben medir las variables:

a) Independientes:

- Nivel freático en relación con el nivel de piso terminado
- Humedad del suelo
- Tipo de suelo

• Tipos modulares de material de construcción: evalúa la combinación de los tipos de materiales de construcción acorde con la técnica y la época de construcción, según estudios del comportamiento de estos materiales, como por ejemplo, el tipo modular que se categoriza en:

- ladrillo con mortero y repello de cal y arena
- mampuesto con repello de cal y arena
- ladrillo con mortero y repello fino y grueso de cemento
- bloque con mortero y repello fino y grueso de cemento

b) Dependientes:

- Altura capilar en relación con el nivel de piso terminado

20. FERNÁNDEZ MELIÁN, B. *Posibilidad de ocurrencia del Fenómeno de Licuefacción catalizado por terremotos fuertes en la ciudad de Santiago de Cuba*. Santiago de Cuba: Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI), 2002.

21. FRÍAS HERRERA, Eugenio Ernesto: "Comportamiento de la humedad capilar en edificaciones coloniales de la zona baja del centro histórico de la ciudad de Santiago de Cuba". Tesis de Diploma. Director: Mayelin González Trujillo, Elsi M. López Arias, Martha C. Mesa Valenciano. Universidad de Oriente. Facultad de Construcciones, Santiago de Cuba, 2010.

Planilla para el levantamiento de la lesión humedad capilar en las edificaciones												
Dirección:		FOTO										
Fecha:												
Tipo de fachada:												
Números de pisos:												
Orientación:												
Tipología constructiva:												
Estilo y/o etapas:												
Uso del inmueble:												
Tipo de elemento componente							Ubicación de la Mancha				Altura capilar	Área total dañada
Tipo de humedad							Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4		
Muro exterior (Fachada)												
Elementos a investigar con los habitantes												
Año de construcción												
Fluctuación de la humedad												
Posible profundidad del nivel freático												
Modificaciones realizadas												
Vanos												
Puertas												
Muros exteriores												
Cubierta												

Figura 4: Planilla del levantamiento preliminar de la lesión humedad capilar. Fuente: Frías (2010).

- Contenido de humedad del muro
- Grado de deterioro

Variables ajenas.- Condiciones climáticas (humedad relativa; temperatura del aire; régimen de precipitaciones; dirección e incidencia de la radiación solar y el viento).

Otras variables consideradas:

a) Las condiciones climáticas, se controlaran en el período seco en función de las mediciones del contenido de humedad. Considerando el análisis estadístico del comportamiento de estas variables en un día.

b) Las variables ajenas, dirección e incidencia de los vientos y de la radiación solar, se deben controlar fijando la orientación de las fachadas de las edificaciones, de acuerdo con este comportamiento se agrupan las orientaciones para el estudio en fachada dirigida al: sur, norte, este y oeste.

Ensayos de caracterización de las variables hidroclimáticas

Se parte de analizar la serie de datos cronológicos del comportamiento de estas variables en la zona de estudio (figura 5). Las variables son:

- Temperatura ambiental
- Humedad relativa ambiental
- Velocidad y dirección de los vientos
- Precipitaciones

Ensayos de caracterización de las variables del suelo

En el esquema experimental se analizan las siguientes variables:

- Profundidad del nivel freático
- Humedad del suelo
- Tipo de suelo
- Densidad natural

Ensayos de caracterización de las variables patológicas

En el esquema experimental (figura 6), se analizarán en las paredes interiores de las edificaciones de muestreo, las siguientes variables:

- Gradiente de humedad
- Altura capilar
- Temperatura
- Humedad relativa
- Tipo de material de construcción
- Contenido de sales

7. Monitorear la variable profundidad del nivel freático en época de lluvia y seca, a través de la técnica de sondeo.

Etapa de Modelación

1. Determinar el comportamiento de las variables del suelo, con un análisis estadístico del resultado del diseño de experimento y el monitoreo. Además, se deben validar los modelos y mapas temáticos de escenario de actuación preliminares por variables del entorno.

2. Determinar las correlaciones entre las variables y obtener las variables significativas en el proceso, a través de la técnica estadística de componentes principales.

3. Establecer cuatro categorías (muy alto, alto, moderado y bajo) de peligro del fenómeno de humedad por capilaridad y modelar las categorías en el SIG aplicando análisis geográficos complejos y consultas SQL, para obtener un mapa que englobe las características de todos ellos.



Figura 5: Esquema experimental de los ensayos de caracterización de suelo.



Figura 6: Esquema experimental de los ensayos patológicos.

4. Confeccionar los modelos de vulnerabilidades, aplicando la técnica de regresión múltiple y establecer cuatro categorías (muy alto, alto, moderado y bajo) de vulnerabilidad de las edificaciones ante el fenómeno de humedad por capilaridad.

5. Determinar los modelos explicativos de actuación de grado de deterioro. A través de los modelos de escenario de peligro y vulnerabilidad, los cuales se zonifican con el SIG.

Una vez identificados los escenarios de deterioro, se puede gestionar a través del modelo la decisión a tomar, y proponer las técnicas de tratamiento a emplear considerando el escenario de actuación de la relación.

Conclusiones

1. Se propone una metodología con carácter multidisciplinar, que convine los métodos tradicionales inductivo-deductivo de estudios patológicos de la lesión de humedad por capilaridad, con los de zonificación y modelaje de escenarios de peligro y vulnerabilidad, para determinar el escenario de actuación de la relación capilaridad-deterioro, utilizando un Sistema de Información Geográfica y las correlaciones de las variables significativas.

2. La metodología permite obtener los modelos espaciales de los escenarios de peligro, vulnerabilidad y deterioro por efectos de la humedad por capilaridad, para cualquier situación y condición ambiental. Estos modelos son una herramienta importante para los especialistas, en función del análisis de las técnicas de intervención a aplicar en las edificaciones afectadas por la relación capilaridad- deterioro.



*Mayelín González Trujillo
MsC. Ingeniera. Profesora Auxiliar.
Universidad de Oriente, Sede Julio A.
Mella, Facultad de Construcciones,
E-mail: mtrujillo@fco.uo.edu.cu*



*Eduardo Beira Fontaine
DrC Ingeniero. Profesor titular.
Universidad de Oriente, Sede Julio A.
Mella, Facultad de Construcciones,
E-mail: efontain@fco.uo.edu.cu*



*Odalys Álvarez Rodríguez
DraC. Ingeniera. Vicedecana docente.
Instituto Superior Politécnico "José
Antonio Echeverría" (Cujae), Facultad de
Ingeniería Civil. E-mail:
oar@civil.cujae.edu.cu*



*Elio Quijala Ortiz
MsC. Ingeniero. Universidad de Oriente,
Sede Julio A. Mella, Facultad de
Construcciones. E-mail: elquiala@fco.
uo.edu.cu*