

APLICACIÓN DEL SISTEMA PARA EVALUAR EL ESTADO CONSTRUCTIVO EN MUROS DE ADOBE

María Cecilia Achig¹; Lourdes Abad²

¹ Proyecto vIirCPM-Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca, cecilia_achig@hotmail.com

² Red Iberoamericana PROTERRA, Cuenca. labad11@hotmail.es

Palabras claves: sistemas constructivos tradicionales, muro adobe, daños, indicadores y variables

Resumen

Las edificaciones patrimoniales en el Centro Histórico de Cuenca tienen como elementos comunes los muros de adobe, mismos que son susceptibles de amenazas de origen natural y antrópico, produciendo con el tiempo su deterioro. Para la conservación de los muros de adobe, resulta necesario conocer su estado constructivo. Al respecto, el proyecto vIirCPM¹ de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca, en el año 2013, realizó una investigación donde se propuso un sistema de registro de daños para determinar la condición de los muros de adobe, basado en la determinación de indicadores medibles y sus respectivas variables, que se sintetizó en una matriz de priorización y ponderación, a través de la cual se aplicó un sistema multivariado que permite tener un indicador integral que califica la condición del muro. Este indicador no solamente refleja la urgencia de intervención sino también el tipo de intervención requerida o acciones de monitoreo para la conservación. En base al mencionado trabajo, la presente investigación tiene por objeto comprobar si el sistema de evaluación propuesto constituye un aporte y tiene una aplicación práctica para abordar la problemática de intervención. El sistema se aplica en varias edificaciones de adobe de la ciudad de Cuenca. Los resultados y conclusiones permiten comprobar, si el método matemático planteado tiene validez y posibilita tener una visión integral del estado de daños, y al mismo tiempo brindar mayor seguridad al momento de la toma de decisiones fundamentales para la conservación del patrimonio.

1 INTRODUCCIÓN

La tierra ha sido el material de construcción predominante en casi todos los climas cálido-secos y templados del mundo. Las técnicas de construcción con barro datan de hace más de 9000 años. Aún en la actualidad alrededor del 30% de la población mundial vive en edificaciones de tierra, en países en vías de desarrollo esto representa alrededor del 50% y la mayor parte de la gente de las zonas rurales habita en viviendas de tierra (Fratini et al, 2011).

En el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca, declarado por la UNESCO en 1999 como Patrimonio Mundial de la Humanidad, la mayoría de las edificaciones patrimoniales son construidas de adobe y bahareque. De acuerdo a los datos de inventario a nivel de registro de la Municipalidad de Cuenca (2010), del total de edificaciones inventariadas, el 43,2% corresponde a fachadas de adobe y el 18,2% tiene como estructura muros de adobe.

1.1 Causas de deterioro en muros de adobe

Las fallas constructivas, deficiente mantenimiento y malas intervenciones, afectan a la estabilidad y aceleran la evolución de daños en edificios con muros de adobe, pudiéndole llevar incluso a una situación de colapso. Los principales daños que podrían llevar al muro de adobe a este estado son los siguientes: grieta de flexión, grieta y falla de tímpano, grietas horizontales a mediana altura, grietas de corte en forma de X, grietas verticales en las

¹ Participaron los arquitectos: María Cecilia Achig, Lourdes Abad, Marcelo Zúñiga (+) y Koenraad Van Balen

esquinas, grietas diagonales en las esquinas, grietas en forma de aspas en las esquinas, grietas en aberturas, grietas entre muros perpendiculares (Leroy Tolles; Kimbro; Ginell, 2002), grietas en forma de curva parabólica, (Piedra, 2008), desplome de muros, erosión basal y erosión del cabezal del muro.

Las construcciones históricas casi siempre presentan grietas generadas por actividad sísmica anterior, por deformación o por asentamiento de la cimentación. Las edificaciones de adobe en el Centro Histórico de Cuenca a través del tiempo han tenido que hacer frente a cargas sísmicas que son absorbidas dependiendo de la condición de las estructuras. Los sismos aceleran los daños que ya se han manifestado en las construcciones. Por otra parte, el adobe sufre una dramática reducción de resistencia cuando se moja, con la presencia de humedad pierde sus propiedades de cohesión.

1.2 La conservación de muros de adobe en relación a su estado constructivo

Para la conservación del patrimonio, resulta necesario conocer el estado constructivo que presentan los muros de adobe, así como el valor de la arquitectura patrimonial. De acuerdo con el Documento de Nara (UNESCO-ICCROM-ICOMOS, 1994), la autenticidad y valores se definen por la fuente de información de un bien patrimonial en los siguientes aspectos: forma y diseño, materiales y substancia, uso y función, tradiciones, técnicas y experticia, lugares y asentamientos, espíritu y sentimiento. En este contexto, el análisis del daño está relacionado con la condición física de un edificio. El valor tecnológico determina que es necesario emplear materiales y técnicas tradicionales de construcción no sólo para optimizar recursos, sino porque en ellas se refleja una relación particular con la historia. La conservación de edificios patrimoniales implica la conservación de la materia, pues el valor tecnológico y la autenticidad están determinados por ésta. Existe una relación entre los valores patrimoniales y la forma de intervenir cuando se presenta un daño. Se puede seguir el siguiente enfoque no lineal y consecutivo de intervención: análisis, diagnóstico, tratamiento y control (ICOMOS, 2003).

El conocimiento de los daños en muros de adobe es importante también por las demandas de asesoramiento por parte de las instituciones y por parte de los particulares para determinar las intervenciones. La sistematización de la información mediante bases de datos y sistemas informáticos es actualmente la única manera de poder manejar la información de forma ágil, eficiente y con la posibilidad de actualizarla. Por esta razón se espera que el sistema de registro de daños para determinar el estado constructivo de muros de adobe propuesto, a más de las ventajas descritas previamente, permita lograr una oportuna recuperación de los edificios patrimoniales de la ciudad de Cuenca.

2 MATERIALES

De la revisión bibliográfica proveniente de diferentes fuentes se ha podido observar lo siguiente:

- El carácter incompleto de la información. En los inventarios no se establecen los mecanismos y las causas que generan los daños en edificios históricos, y no hay ningún registro sobre los cambios o afectaciones en las edificaciones patrimoniales a lo largo del tiempo (proyecto *vliirCPM*, 2009).
- Falta de conocimiento, entrenamiento y experiencia de los evaluadores. Para llevar a cabo un buen proceso de evaluación de daños, es importante contar con técnicos con amplia experiencia y experticia.
- Subjetividad en las evaluaciones. Los niveles de afectación del muro son definidos en la mayoría de los métodos de evaluación con calificaciones como leve, menor, moderado, medio, severo, grave o fuerte; conceptos que pueden tener una notable variación en su significado según la experiencia de quien los utilice. Por esto, es necesario que la evaluación sea lo más cuantitativa posible (Achig et al, 2013).

- Falta de un registro de los daños de una manera sistemática, organizada con resultados que puedan ser monitoreados a futuro.

3 METODOLOGÍA

El modelo propuesto en la presente investigación establece los principales factores que tienen incidencia sobre el estado constructivo del muro de adobe, expresados en un conjunto de variables que representan sus condiciones, y que a su vez son susceptibles de ser identificadas, medidas o cuantificadas. El sistema planteado emplea el análisis multivariado (Malczewski, 1999) para interrelacionar apropiadamente distintas variables y obtener un indicador integrado. Se trata de un método de priorización de variables basado en matrices. La metodología se sintetiza principalmente en las siguientes partes: (i) definición de indicadores y variables que caracterizan el estado constructivo del muro de adobe; (ii) asignación de valores cualitativos y cuantitativos a las variables; y (iii) priorización y ponderación de variables.²

A través de la combinación de las variables (Tabla 1), esta investigación desarrolla el sistema para evaluar el muro de adobe. En efecto, el modelo propuesto establece los principales factores que tienen incidencia sobre el estado constructivo del elemento y son: sistema constructivo, geometría del elemento, acciones mecánicas y medio ambiente. Estos indicadores se relacionan directamente con las variables, puesto que para la formulación de las mismas se realizó un estudio exhaustivo del sistema constructivo de un muro de adobe, su geometría, acciones mecánicas que lo puedan afectar y cómo el ambiente incide sobre el mismo. El conjunto de variables representa las condiciones del muro y son susceptibles de ser identificadas, medidas o cuantificadas, descritas, documentadas y valoradas, en términos de su estado de afectación. (Achig et al, 2013)

3.1 Asignación de valores cualitativos y cuantitativos a las variables

Se asigna una calificación dependiendo del daño observado utilizando entre tres y cinco posibles niveles de daño en función de la variabilidad, en primer término se establece una escala cualitativa. La Tabla 2 ilustra las denominaciones utilizadas por el modelo para estas calificaciones. Luego se asocia para cada condición que presenta la variable un valor cuantitativo, lo cual permitirá aplicar un proceso matemático para determinar de forma integrada un indicador de estado que sintetiza el análisis del muro y por consiguiente permite obtener una valoración global del elemento. La escala cuantitativa indica el nivel de daño en el muro de adobe que va desde 0 hasta 1. El valor 0 indica que se cumple con la condición presentada en la variable o que el elemento no presenta daños; el valor 0,25 indica la presencia de un daño en bajo nivel; los valores 0,5 y 0,75 indican que se está próximo al límite y finalmente el valor 1 muestra que el límite de la variable ha sido superado y por lo tanto existe un daño eminente. Lo indicado se muestra en la Tabla 2. (Achig et al, 2013)

3.2 Priorización de variables y evaluación del estado constructivo.

De las 20 variables establecidas, el nivel de gravedad está definido por dos de ellas: si el muro es de carga y la magnitud del daño. En las restantes 18 se realiza su priorización y

² Existen dos investigaciones donde se refleja la idea de presentar resultados objetivos para la evaluación de daños. Tesis doctoral *Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos: Acciones ex ante y ex post* de la autora Carreño (2006), donde se propuso un modelo de evaluación de daños en edificios después de un terremoto, basado en técnicas de inteligencia computacional como redes neuronales artificiales y conjuntos difusos; este modelo hace posible una evaluación más exacta de un daño estructural y el riesgo asociado a éste, a través de resultados cualitativos y cuantitativos. Otro estudio que propone una metodología para la evaluación del nivel y magnitud del riesgo es patrocinado por la UNESCO: *Risk management at heritage sites. A case study of the Petra world heritage site* (Paolini et al, 2012), el cual se basa en enfoques cualitativos y cuantitativos planteando la sumatoria de tres criterios: (i) probabilidad o magnitud del daño; (ii) pérdida de valores e integridad; y (iii) porcentaje del área evaluada susceptible a la amenaza y su vulnerabilidad.

ponderación. El resultado de esta matriz de priorización se puede observar en los ejemplos presentados en las tablas 3 y 4.

De acuerdo al sistema planteado, se determinaron los siguientes valores para el nivel de gravedad (puntuación máxima = 50): Muro carga (25): No = 0; Si = 25; Magnitud (25): No = 0; Baja = 6,25; Media = 12,5; Alta = 18,75; Muy Alta = 25.

Los factores obtenidos en la matriz de priorización se utilizan para la determinación del indicador del estado constructivo del muro de adobe aplicando la siguiente relación:

$$IEMA = [(V1*PP1) + (V2*PP2) + (V3*PP3) + \dots + (V18*PP18)]/2 + GRV$$

IEMA: Indicador integral del estado constructivo de muro de adobe (en porcentaje).

V1 → V18: Valor cuantitativo (ver Tabla 2; valor entre 0 y 1).

PP1 → PP18: Factor de ponderación de cada variable (en porcentaje).

GRV: Nivel de gravedad.

Una vez aplicada la fórmula y determinado el IEMA (Achig et al, 2013), se procede a establecer la calificación del muro de adobe de la siguiente manera:

Muy alta > 75%	Colapso: Cuando se ha superado el límite de estabilidad física del muro.
Alta de 50 a 75%	Crítico: El muro tiene un alto nivel de afectación, pero es susceptible de ser intervenido.
Media de 25 a 50%	Estabilidad condicionada: El muro presenta daños, pero se mantiene la condición de estabilidad; por lo tanto se pueden realizar intervenciones para su recuperación.
Baja < 25%	Estable: Sin afectación
No = 0	

Tabla 1. Elemento constructivo, indicadores, variables y descripción de las variables definidas para la valoración del estado constructivo de muros de adobe.

Elemento constructivo	Indicadores	Variables	Descripción
<p style="text-align: center;"> </p>		1. Esbeltez y grosor del muro	S/L < 6 (muro grueso), = 6-8 (muro moderado), > 8 (muro delgado) (1) S = altura, L = espesor
		2. Conexión entre los muros	Conexión adecuada, conexión parcial, sin conexión (1)
		3. Cargas verticales puntuales	Cargas que se distribuyen de manera uniforme o cargas puntuales (1)
		4. Si el muro es de carga o no	Muros portantes o no portantes (1)
		5. Longitud del muro	No más que 3 m, especialmente si el muro es delgado
		6. La condición de la base del muro	Caracterizado por la erosión basal y contenido excesivo de humedad (1)
		7. Falta de traba en una o dos hiladas verticales	Los muros deben estar trabados tanto horizontal como verticalmente
		8. Falta de traba entre muros	Si un muro no está trabado en la esquina, los muros adyacentes quedan aislados, aumentando la posibilidad de volteo o colapso
		9. Juntas verticales y horizontales con morteros pobres	El mortero en las juntas debe tener la misma resistencia que los adobes, es decir, la misma granulometría
		10. Longitud de dinteles en vanos	Deben trasladarse sobre el muro al menos 40 cm
		11. Longitud de vanos	No deberían exceder de un tercio de la longitud del muro (2)
		12. Distancia entre vanos	La distancia mínima entre vanos es 1,2 m (2)
		13. Posición de los vanos con respecto a la esquina	Deben ser colocados a un mínimo de 1 m de distancia desde la esquina del muro
		14. Grado de inclinación de un muro de 50 cm de espesor	Poca probabilidad de volteo cuando está desalineado entre 2,5 y 5 cm, y probabilidad de volteo cuando está desalineado 15 cm en presencia de humedad (1)
		15. Muros sin recubrimiento	Muros sin recubrimiento que están expuestos al efecto del viento
		16. Porcentaje o presencia de humedad de los muros	El adobe con la presencia de humedad pierde sus propiedades y se reduce su resistencia
		17. Presencia de revestimientos con baja permeabilidad	La presencia de revestimientos rígidos (cemento) no permite que la humedad proveniente del suelo, lluvia, etc., pueda salir.
		18. Presencia de fisuras en los revestimientos con baja permeabilidad al exterior	Permiten que la humedad proveniente de la lluvia o de la cubierta entre al muro de adobe y no pueda salir
		19. Utilización de materiales incompatibles	Ocasiona grietas que debilitan a los muros de adobe
		20. Magnitud (dimensión) del daño (%)	Conocer la dimensión del daño en porcentaje, permite establecer en qué medida los daños están afectando la estabilidad del muro de adobe

Leyenda: (1) Leroy Tolles y col., 2002; (2) Blondet y col., 2003

Tabla 2. Asignación de valores en términos cualitativos y cuantitativos para las diferentes variables.

Variables	Escala cualitativa y cuantitativa			
	(1)	(2)	(1)	(2)
1. Esbeltez y grosor del muro	Cumple $S/L < 6$	0	Próximo a límite $S/L = 6-8$	0,5
2. Conexión entre los muros	Adecuada	0	Parcial	0,5
3. Cargas verticales puntuales	No	0	Sin conexión	Si
4. Si el muro es de carga o no				
5. Longitud del muro	Cumple $d < 3$ m	0	Próximo a límite $d = 3$ m	0,5
6. La condición de la base del muro	No	0		Supera el límite $d > 3$ m
7. Falta de traba en una o dos hiladas verticales	No	0		Si
8. Falta de traba entre muros	No	0		Si
9. Juntas verticales y horizontales con morteros pobres	No	0		Si
10. Longitud de dinteles en vanos	Cumple $l > 40$ cm	0	Próximo a límite $l = 40$ cm	0,5
11. Longitud de vanos	Cumple $v < 1/3 l; v < 1,2$ m	0	Próximo a límite $v = 1/3 l; v = 1,2$ m	0,5
12. Distancia entre vanos	Cumple $dv < 1,2$ m	0	Próximo a límite $dv = 1,2$ m	0,5
13. Posición de los vanos con respecto a la esquina	Cumple $d > 1$ m	0	Próximo a límite $d = 1$ m	0,5
14. Grado de inclinación de un muro de 50 cm de espesor	Cumple $i < 5$ cm	0	Próximo a límite $i = 5-10$ cm	0,5
15. Muros sin recubrimiento	No	0		Si
16. Porcentaje o presencia de humedad de los muros	No	0	Bajo	0,25
17. Presencia de revestimientos con baja permeabilidad	No	0	Medio	0,5
18. Presencia de fisuras en los revestimientos con baja permeabilidad al exterior	No	0	Alto	0,75
19. Utilización de materiales incompatibles	No	0		Muy alto
20. Magnitud (dimensión) del daño (%)				

Leyenda: (1) Escala cualitativa; (2) Escala cuantitativa

4 APLICACIÓN DEL SISTEMA PARA DETERMINAR EL ESTADO CONSTRUCTIVO

Se realizaron varias aplicaciones del sistema en inmuebles patrimoniales. Para el presente ejercicio se ha considerado muros de carga y auto portantes utilizados en cerramientos.

4.1 Muros auto portantes utilizados en cerramientos

Para la aplicación del sistema se analizaron los muros de cerramiento del Hospital Mariano Estrella, construido a principios del siglo XX, los que por su longitud y dimensiones constituyen por sí mismos muros patrimoniales. El muro analizado tiene 50 m de longitud y el sistema se aplicó en el centro, en la esquina y en el muro perpendicular de traba, con el fin de analizar los puntos donde cambia el comportamiento frente a las solicitaciones estructurales.

Tabla 3. Determinación del IEMA en el Muro 1 (esquina)

VARIABLES	VALOR CUANTITATIVO DE LA VARIABLE (V)	FACTOR DE PONDERACIÓN (PP)	% (PP)	Valor cuantitativo * Factor de ponderación % (V*PP)
1. Esbeltez y grosor del muro (S/L), relación entre la altura y el espesor	0	0,0735	7,35	0,00
2. Conexión entre los muros y el sistema de cubierta y/o entrepiso (falta de viga collar)	1	0,0643	6,43	6,43
3. Cargas verticales puntuales (cubierta)	0	0,0607	6,07	0,00
4. Si el muro es de carga o no				
5. Longitud del muro. La distancia entre los muros transversales	1	0,0570	5,70	5,70
6. La condición de la base del muro: erosión basal y contenido excesivo de humedad	1	0,0625	6,25	6,25
7. Falta de traba en una o dos hiladas verticales	0	0,0331	3,31	0,00
8. Falta de traba entre muros (esquinas). Muros libres	0	0,0460	4,60	0,00
9. Juntas verticales y horizontales con morteros pobres	0	0,0386	3,86	0,00
10. Longitud de dinteles en vanos		0,0533	5,33	0,00
11. Longitud de vanos		0,0551	5,51	0,00
12. Distancia entre vanos		0,0515	5,15	0,00
13. Posición de los vanos con respecto a la esquina		0,0533	5,33	0,00
14. Grado de inclinación del muro	0,5	0,0901	9,01	4,51
15. Muros sin recubrimiento expuestos al efecto abrasivo del viento	1	0,0386	3,86	3,86
16. Porcentaje o presencia de humedad de los muros de adobe	0,75	0,0643	6,43	4,82
17. Presencia de revestimientos con baja permeabilidad		0,0515	5,15	0,00
18. Presencia de fisuras en revestimientos con baja permeabilidad al exterior		0,0533	5,33	0,00
19. Utilización de materiales incompatibles		0,0533	5,33	0,00
20. Magnitud (dimensión) del daño (%)				
		1,0000	100,00	31,57
		V*PP/2		15,78
	Nivel de gravedad	Muro de carga	NO	0
		Magnitud del daño		18,75
IEMA=Indicador Integral del Estado constructivo de Muro de Adobe (en porcentaje)	AFECTACIÓN DE MURO	Media		34,53

Justificación de los valores asignados por las variables para el muro 1 (esquina)

1. Esbeltez y grosor del muro: Tomando en consideración que S (altura) es 4 m y L (espesor) es 1 m, la relación de esbeltez es de 4, condición que se cumple de acuerdo a la tabla 1 y por lo tanto se le asigna un valor de 0.

2. Conexión entre los muros y el sistema de cubierta y/o entrepiso: no existe por lo tanto el valor asignado es 1.

3. Cargas verticales puntuales (cubierta): no existe por lo tanto el valor cuantitativo es 0.

5. Longitud del muro. La distancia entre los muros transversales: el muro no está trabado con elementos de arriostramiento, por lo tanto supera el límite y se le asigna un valor de 1.
6. La condición de la base del muro: erosión basal y contenido excesivo de humedad: el muro presenta humedad en su base e incluso ha perdido parte del mismo en la esquina, por lo tanto la calificación es 1.
7. Falta de traba en una o dos hiladas verticales: el muro se encuentra trabado verticalmente por lo que se le asigna un valor 0.
8. Falta de traba entre muros (esquinas): el muro se encuentra trabado en la esquina por lo que recibe una calificación de 0.
9. Juntas verticales y horizontales con morteros pobres: el mortero entre los adobes presenta condiciones adecuadas para su función, por lo que se le califica con 0.
10. 11. 12. 13. Las variables longitud de dinteles en vanos, longitud de vanos, distancia entre vanos, posición de los vanos con respecto a la esquina, no se analizan puesto que no se presentan en el muro en estudio.
14. Grado de inclinación del muro: el muro está inclinado 10cm en su esquina, encontrándose próximo al límite ($i= 5 - 10$ cm) y se le asigna un valor de 0,5.
15. Muros sin recubrimiento expuestos al efecto abrasivo de viento: el muro se encuentra sin sus capas de protección revoque y empañete, correspondiéndole un valor de 1.
16. Porcentaje o presencia de humedad de los muros: la presencia de humedad del muro es alta y le corresponde a un valor de 0,75.
17. 18. 19 Las variables: presencia de revestimientos con baja permeabilidad, presencia de fisuras en los revestimientos con baja permeabilidad al exterior y utilización de materiales incompatibles, no existen en el muro por lo que no se analiza. (Figura 1)



Figura 1 – Muro 1: Cerramiento del Hospital Mariano Estrella, mayo 2015

En la tabla 3 se indica la magnitud del daño alta con un valor de 18,75. Esta magnitud se debe a la presencia de vegetación, grietas, 10 cm de desplome, erosión basal y en el cabezal del muro.

Resultados

Muro 1 (esquina)

Como se puede observar en la tabla 3, al aplicar la fórmula para determinar el IEMA, se obtiene el siguiente resultado para el muro 1 en la esquina:

Muro es de carga	no	0
Magnitud del daño (%)	alta	18,75
IEMA		34,53
Nivel de afectación	media	estabilidad condicionada

Muro 1 (centro)

Analizando el nivel de gravedad se tienen los siguientes resultados:

Muro es de carga	no	0
Magnitud del daño (%)	muy alta	25
IEMA		44,53
Nivel de afectación	media	estabilidad condicionada



Figura 2 – Muro 1 Centro: Cerramiento del Hospital Mariano Estrella, mayo 2015

La magnitud del daño se consideró muy alta debido a que existe un desplome de 29 cm por falta de contrafuertes, empujes del suelo, presencia de humedades y vegetación parásita. Además, el muro presenta una grieta vertical de 4 cm. (Figura 2)

Muro 2 (esquina) con Muro 1

Analizando el nivel de gravedad se tienen los siguientes resultados:

Muro es de carga	no	0
Magnitud del daño (%)	alta	25
IEMA		44,53
Nivel de afectación	media	estabilidad condicionada



Figura 3 – Muro 2 esquina con muro 1: Cerramiento del Hospital Mariano Estrella, mayo 2015

Esta magnitud del daño se debe a la presencia de vegetación, el desprendimiento del cabezal del muro, la pérdida del entejado, lo cual deja al muro desprotegido frente a la humedad. (Figura 3)

Como se observa, estos resultados no muestran la verdadera situación que presentan los muros analizados, es decir de gran deterioro. Esto indica que se debe revisar en el sistema la verdadera condición de los muros que tienen únicamente como carga su propio peso.

4.2 Muros de carga

Para la aplicación del sistema se analiza un muro de carga (Figura 4) de una edificación patrimonial ubicada en el barrio de El Vado, en la calle Juan Montalvo No. 6-32

Tabla 4. Determinación del IEMA en el Muro 3

VARIABLES	VALOR CUANTITATIVO DE LA VARIABLE (V)	FACTOR DE PONDERACIÓN (PP)	% (PP)	Valor cuantitativo * Factor de ponderación % (V*PP)
1. Esbeltez y grosor del muro (S/L), relación entre la altura y el espesor	0	0,0735	7,35	0,00
2. Conexión entre los muros y el sistema de cubierta y/o entrepiso (falta de viga collar)	0,5	0,0643	6,43	3,22
3. Cargas verticales puntuales (cubierta)	1	0,0607	6,07	6,07
4. Si el muro es de carga o no				
5. Longitud del muro. La distancia entre los muros transversales	1	0,0570	5,70	5,70
6. La condición de la base del muro: erosión basal y contenido excesivo de humedad	1	0,0625	6,25	6,25
7. Falta de traba en una o dos hiladas verticales	0	0,0331	3,31	0,00
8. Falta de traba entre muros (esquinas). Muros libres	1	0,0460	4,60	4,60
9. Juntas verticales y horizontales con morteros pobres	0	0,0386	3,86	0,00
10. Longitud de dinteles en vanos	1	0,0533	5,33	5,33
11. Longitud de vanos	0,5	0,0551	5,51	2,76
12. Distancia entre vanos	0	0,0515	5,15	0,00
13. Posición de los vanos con respecto a la esquina	1	0,0533	5,33	5,33
14. Grado de inclinación del muro	0,5	0,0901	9,01	4,51
15. Muros sin recubrimiento expuestos al efecto abrasivo del viento	1	0,0386	3,86	3,86
16. Porcentaje o presencia de humedad de los muros de adobe	1	0,0643	6,43	6,43
17. Presencia de revestimientos con baja permeabilidad	1	0,0515	5,15	5,15
18. Presencia de fisuras en revestimientos con baja permeabilidad al exterior	0,5	0,0533	5,33	2,67
19. Utilización de materiales incompatibles	1	0,0533	5,33	5,33
20. Magnitud (dimensión) del daño (%)				
		1,0000	100,00	67,19
		V*PP/2		33,60
	Nivel de gravedad	Muro de carga	SI	25
		Magnitud del daño (muy alt		25
IEMA=Indicador Integral del Estado constructivo de Muro de Adobe (en porcentaje)		AFECCIÓN DEL MURO	Muy Alto	83,60

Resultados

Como se puede observar en la tabla 4, al aplicar la fórmula para determinar el IEMA, se obtiene el siguiente resultado para el Muro 3:

Muro es de carga	si	25
Magnitud del daño (%)	muy alta	25
IEMA		83,60
Nivel de afectación	muy alto	



Figura 4 – Muro 3 de carga: Barrio de El Vado, calle Juan Montalvo No. 6-32

La magnitud del daño se ha considerado muy alta debido a que presenta empujes de la estructura de madera de la cubierta que ha colapsado. Además, el muro presenta humedades en el cabezal y en la base.

El resultado obtenido en este muro, si refleja la verdadera condición del mismo, que se encuentra con riesgo de colapso inminente.

5 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

La investigación propone el diseño de un sistema de registro de daños para determinar el estado constructivo de muros de adobe, lo cual resulta esencial para la conservación del patrimonio edificado de arquitectura de tierra desde una visión preventiva para implementar procesos de monitoreo y control antes de que se produzcan daños irreparables en los muros.

La determinación del Indicador Integral del Estado Constructivo de Muro de Adobe (IEMA) constituye una herramienta que permite un acercamiento a la condición de los muros que puede ser manejada por personal no especializado en el tema de la conservación, sin embargo relacionados con la gestión de los sitios patrimoniales. Complementariamente se necesita el apoyo de técnicos con experiencia que puedan calificar el porcentaje de afección existente en el bien.

En una primera etapa se establece con precisión el sistema constructivo, la geometría del elemento, las acciones mecánicas (tabla 1) la incidencia del ambiente, y sus relaciones establecidas a través de variables cuantificables, para obtener el nivel de afectación: muy alto, alto, medio, bajo y sin afectación. Es necesario recalcar que para lograr una mayor confianza de quienes realizan el monitoreo esta etapa es de gran importancia pues al contar con variables cuantificables, las apreciaciones subjetivas no se consideran.

En una segunda etapa es necesaria la participación de quienes han trabajado con muros de adobe desde su materialidad, los sistemas constructivos tradicionales, para poder comprobar el estado constructivo de los muros determinado de manera cuantitativa con la experiencia. En este momento se plantearían las posibles soluciones a los daños detectados.

La calificación del muro de adobe determinada a través del IEMA, refleja cinco estados de afección: Muy alta, Alta, Media, Baja y Sin afección: estos valores permiten establecer recomendaciones de actuación que dependiendo del caso serán urgentes o a mediano y largo plazo. De esta manera se implementan acciones para la conservación del patrimonio edificado.

Luego de la aplicación del sistema, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Los muros perimetrales generalmente de cerramientos, que no trabajan con otras cargas, sino que soportan su propio peso, deberían considerarse como muros de carga. Entonces en el sistema debería trabajar con un valor unificado de 25.
- Se podría mencionar como un factor negativo para la aplicación del sistema en su segunda etapa de apreciación del porcentaje de daños la necesidad de contar con técnicos con experiencia en intervenciones en arquitectura de tierra y patrimonio, el equipo de trabajo plantea que estos expertos pueden ser profesionales académicos, albañiles o maestros de obra. Así que no es un limitante sino todo lo contrario el reconocimiento de los saberes permitirá un correcto monitoreo y control de las edificaciones construidas con muros de adobe.
- El sistema del IEMA está en fase experimentación, no es un sistema cerrado, por lo cualquier aporte enriquecerá la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Achig, M.C.; Zúñiga, M.; Van Balen, K.; Abad, L. 2013. Sistema de registro de daños para determinar el estado constructivo en muros de adobe. Revista científica Maskana, Vol. 4, No. 2.

Carreño, M.L., 2006. Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos: Acciones ex ante y ex post. Tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Barcelona, España, 158-176.

Fratini, F., Pecchioni, E.; Rovero, L.; Tonietti, U. 2011. The earth in the architecture of the historical centre of Lamezia Terme (Italy): Characterization for restoration. Appl. Clay Sci., 53, 519-516.

ICOMOS, 2003. Charter- principles for the analysis, Conservation and structural restoration of architectural heritage, Zimbabwe. Descargado en julio de 2015 de: http://www.international.icomos.org/charters/structures_e.pdf

Leroy Tolles, E.; Kimbro, E.E; Ginell, W.S. 2002. Guías de planeamiento e ingeniería para la estabilización sismorresistente de estructuras históricas de adobe. The Getty Conservation Institution, Los Ángeles, USA, 160 pp. Descargado de http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/seismic_retrofitting_es_p.pdf en julio del 2013.

Municipalidad de Cuenca, 2010. Actualización del inventario de las edificaciones patrimoniales del Centro Histórico de Cuenca. Base de datos del inventario a nivel de registro en formato digital. Municipalidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

Malczewski, J. 1999. Gis and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons Inc., 393 pp.

UNESCO-ICCROM-ICOMOS, 1994, Nara Document on authenticity, Japan. Descargado de <http://whc.unesco.org/archive/nara94.htm> en julio del 2015.

Paolini, A.; Vafadari, A.; Cesaro G.; Santana Quintero, M.; Van Balen, K.; Vileikis, O.; Fakhoury, L. 2012. Risk management at heritage sites. A case study of the Petra world heritage site. UNESCO - Katholieke Universiteit Leuven, Ammán, Jordania, 172 pp.

Piedra, D. 2008. Patologías y sus causas en muros en tierra cruda y cocida en las edificaciones patrimoniales. Tesis de Maestría en Conservación de Monumentos y Sitios, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 81 pp.

Proyecto vIirCPM World Heritage City Preservation Management, 2009. El registro de daños de la edificación patrimonial en la ciudad de Cuenca. Documento no publicado. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Católica de Lovaina - Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 18 pp.

AGRADECIMIENTOS.

Las autoras agradecen a los miembros del proyecto vIirCPM de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca, por facilitar información para la realización del presente trabajo. Un reconocimiento a la memoria del arquitecto Marcelo Zúñiga (+) y al profesor Koenraad Van Balen, coautores del artículo que sirvió de base para la aplicación del sistema para la calificación de muros de adobe.

AUTORAS

María Cecilia Achig Balarezo, magister en conservación de monumentos y sitios, master of conservation of monuments and sites en el Centro Raymond Lemaire en Lovaina - Bélgica; arquitecta; investigadora del proyecto vIirCPM (Manejo y Preservación de la Ciudad Patrimonio Mundial) en cooperación con las universidades flamencas; docente de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca.

María de Lourdes Abad Rodas, arquitecta, miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA, especialidades Conservación y Manejo del Patrimonio Arquitectónico Histórico-Arqueológico de Tierra (proyecto Terra Chan Chan), capacitada en el Área de Restauración de Monumentos y Museo, Convento de Santo Domingo (Convenio Ecuador – Bélgica), consultora Proyectos de Restauración, obra nueva de arquitectura de tierra, ganadora de premios de ornato y de patrimonio.