



ARTÍCULO RES 002



Artículo 002

LA REHABILITACIÓN SÍSMICA DE EDIFICACIONES HISTÓRICAS EN TIERRA COMO ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO EN MÉRIDA, VENEZUELA

Seismic rehabilitation of historical earthen buildings as sustainable strategies for the architectural heritage in Mérida, Venezuela

ARGIMIRO CASTILLO GANDICA

Departamento de Tecnología de la Construcción, Escuela de Arquitectura, Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Los Andes, Conjunto "Dr. Pedro Rincón Gutiérrez", La Hechicera, Mérida, Venezuela. E-mail: argicast@ula.ve

Recibido: 20/02/18. Aceptado: 25/08/18

RESUMEN

En esta investigación se reconoce a la restauración del patrimonio arquitectónico como una herramienta de la sostenibilidad, en función de mantener la memoria colectiva inter generacional, como recurso tangible e intangible único de cualquier sociedad. Se estudian dos casos de restauración en arquitectura patrimonial de tapia, en la ciudad de Mérida, Venezuela, y las estrategias que se siguieron para conseguir el objetivo de conservar y restaurar las edificaciones, a la luz de los principios considerados en la Carta del ICOMOS "Principios para el análisis, conservación y restauración estructural del patrimonio arquitectónico", que en resumen establecen pautas de sostenibilidad al requerir que el edificio patrimonial sea tratado como un todo en función de su importancia cultural en la memoria colectiva de una sociedad. Esto en virtud de la necesaria rehabilitación sísmica de la edificación a restaurar, toda vez que la ciudad de Mérida se encuentra en una zona de sismicidad alta con importantes eventos sísmicos destructivos en su historia. A pesar de ser esta Carta posterior a las intervenciones estudiadas, los procedimientos de restauración fueron llevados a cabo de manera cercana a los principios contenidos en la misma, confiriendo mayor vida útil a las edificaciones y provecho para las generaciones futuras. Esta concordancia se debe, en gran medida, a su antecedente jerárquico en el campo específico de la restauración y conservación: la *Carta internacional sobre la conservación y restauración de monumentos y sitios de Venecia*, aprobada en 1964. Se verifican, además diferencias entre las intervenciones, siendo notable que tanto mejor será el ajuste de la intervención a la carta ICOMOS, cuanto mejor, más evaluadas y sopesadas sean las propuestas de intervención en un marco de trabajo multidisciplinar.

PALABRAS CLAVE: Sostenibilidad, rehabilitación sísmica, restauración, patrimonio arquitectónico, tapia.

SUMMARY

This research recognizes the restoration of cultural heritage as a sustainability tool, aimed at preserving the intergenerational collective memory, as a unique tangible and intangible resource for society. Two case studies of the rammed earth structures of architectural heritage in the city of Mérida, Venezuela, are presented. The study presents the strategies followed to achieve the objective of restoration and conservation of the buildings in light of the principles outlined in the ICOMOS Charter "*Principles for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage*", which establish the guidelines towards sustainability requiring that the structure must be treated as a whole given its cultural relevance in the collective memory of a society. This in the scope of the necessary seismic rehabilitation of the building to be restored, as Mérida City is located in a high seismicity zone and had been effected by destructive events in the past. Even though the ICOMOS Charter was created later than the case studies presented, restoration procedures adhered very closely to the principles of the Charter, which afforded the buildings a longer period of usability for the enjoyment of future generations. This compatibility of procedures is mainly due to the application of methods of restoration and conservation concordant with the international charter, for the conservation and restoration of monuments and sites, adopted in Venice in 1964. In addition, both interventions are compared, and the analysis favours the intervention in compliance with the ICOMOS Charter, as well as the implementation of thorough evaluations and multidisciplinary programmes.

KEY WORDS: Sustainability, seismic rehabilitation, restoration, architectural heritage, rammed earth.

1. INTRODUCCIÓN

La restauración del patrimonio arquitectónico es un proceso complejo y multidisciplinario que involucra disciplinas tan variadas como la Arquitectura, la Ingeniería, la Historia y las Ciencias, entre otras, que cuenta desde el siglo XX con una serie de principios y criterios contenidos en la "*Carta internacional sobre la conservación y restauración de monumentos y sitios de Venecia*" aprobada en el año 1964 por el II Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos, y adoptada por el ICOMOS (International Council on Monuments and Sites), en el año de 1965. En la década pasada, dos hitos fundamentales sitúan la restauración y conservación en el campo de la sostenibilidad: la "*Carta de Cracovia*" (UNESCO, 2000) y la "*Carta del ICOMOS*" (ICOMOS, 2003), pues se entiende al patrimonio arquitectónico como "*...manifestación tangible de la expresión cultural de una sociedad cuyo valor trasciende como bien heredable a futuras generaciones...*" y la restauración de ese patrimonio, como un proceso donde "*...se buscan métodos de valoración, recuperación, actualización, mantenimiento y difusión de tales valores en base a modelos que sean sostenibles a largo plazo y que puedan asegurar su permanencia futura*" (Torres, 2014).

A principios de esta década se adopta el denominado Documento de Madrid 2011 (Criterios de Conservación del Patrimonio Arquitectónico del Siglo XX) (ICOMOS, 2011), los cuales perfilan las características de los procesos de restauración para el patrimonio arquitectónico del siglo XX, estableciendo igual importancia con el patrimonio de otras épocas. La novedad en este documento, es la inclusión de un objetivo fundamental en el cual “...se trata de un patrimonio vivo que es esencial entender, definir, interpretar y gestionar adecuadamente para las generaciones futuras”. Este carácter inter generacional, evidentemente nos describe el carácter sostenible de las intervenciones propuestas; adicionalmente, la aplicación de los criterios establecidos en este documento no se limita al patrimonio arquitectónico del Siglo XX. Así también, en su Artículo 8, se considera específicamente la sostenibilidad medioambiental, con el propósito de tratar de alcanzar un equilibrio entre la sostenibilidad medioambiental y el mantenimiento del significado cultural.

Es trascendental considerar la sostenibilidad como un valor intrínseco de la restauración y conservación del patrimonio arquitectónico, pues además de ser un procedimiento que debe garantizar el reconocimiento cultural pleno del hecho arquitectónico para las generaciones futuras, observa dentro de sus lineamientos las características sostenibles que debe tener toda intervención en cuanto a los materiales y las técnicas constructivas, pues deben ser compatibles desde todo punto de vista sin alterar en lo posible el valor, como un todo, del patrimonio arquitectónico en cuestión.

Un aspecto esencial del proceso de conservación y restauración del patrimonio arquitectónico corresponde a la estabilidad estructural del elemento de interés, pues define la capacidad para poder soportar las diferentes sollicitaciones estructurales que pueda tener a lo largo de su vida útil, o de su vida útil extendida a partir de un proceso de restauración. Entre las sollicitaciones que podrían afectar a las edificaciones durante este período de vida útil se encuentran las acciones accidentales, tales como las acciones de los sismos y los vientos, los cuales tienen cierta probabilidad de ocurrencia. Por ello, la rehabilitación sísmica de estructuras históricas es de suma importancia, ya que busca garantizar su conservación en el tiempo con la mejora del desempeño sísmico de la edificación, entendiendo esto como un comportamiento adecuado, de los elementos que configuran la edificación, tanto de manera individual como en conjunto, para los niveles esperados de la acción sísmica, que comprende el fundamento de la “Declaración de Lima para la gestión de riesgo del patrimonio cultural” (ICOMOS, 2010), cuyo enfoque

multidisciplinario persigue la protección sostenible del patrimonio. Este proceso debe considerar una tríada de aspectos esenciales para toda intervención de edificaciones históricas basada en la seguridad física de las personas, la salvaguarda de los valores intrínsecos del edificio (valor patrimonial y cultural), y el uso actual y futuro.

En cuanto al primer elemento de la tríada: la **seguridad física de las personas**, se refiere a la capacidad del edificio de sobrellevar cierto tamaño de la acción sísmica sin poner en peligro inminente a sus ocupantes, es decir, no deben ocurrir derrumbes parciales o totales del edificio que puedan caer sobre los ocupantes o bloquear su salida del mismo durante y después de un determinado sismo esperado, éstas posibles pérdidas humanas (que en su menor expresión podrían ser víctimas no fatales) son parte fundamental que conjuntamente con las pérdidas físicas (daño físico en las edificaciones) componen las pérdidas ocasionadas por un determinado terremoto. Estos dos aspectos están directamente relacionados con la evaluación de la vulnerabilidad sísmica del bien patrimonial y de la decisión crítica respecto a la misma, es decir, si el bien es sísmicamente vulnerable en un alto grado (susceptible de sufrir daños importantes ante la ocurrencia de un evento sísmico esperado), se debe reducir tal vulnerabilidad a niveles aceptables de riesgo, estrategia denominada mitigación sísmica.

Aquí también encontramos una relación directa con la sostenibilidad, pues dentro del llamado polígono de la sostenibilidad en la construcción, el aspecto de la vulnerabilidad es uno de los parámetros esenciales dentro de sus principios (Cilento, 2015). En cuanto al segundo: **valor intrínseco de la edificación**, corresponde al valor tangible o intangible que pueda tener la edificación como patrimonio cultural y, en consecuencia, lo que podría perderse en caso de su derrumbe total o parcial; este valor está caracterizado a su vez por cinco valores representativos: **1.** Arquitectónico: el estilo arquitectónico, uso y distribución de espacios a lo largo de la historia, forman parte del valor cultural que contiene la edificación; **2.** Artístico: lo configuran tanto la arquitectura de la edificación como los demás elementos que proporcionan identidad al mismo como: frescos, pinturas y murales, elementos ornamentales (cielos rasos, adornos en columnas, muros, pisos, portales, ventanas, etcétera), así como los bienes muebles conservados dentro de la edificación; **3.** Económico: los centros históricos, así como las edificaciones históricas, configuran espacios de interés y atractivos que generan actividades económicas directas o indirectas dentro de sí o a su alrededor; **4.** Histórico: el valor cultural no es solo de la construcción y su época, sino del lugar en sí mismo, pues pudo haber sido el sitio

donde ocurrió un hecho histórico importante siendo testigo mudo del mismo; 5. Técnico o de Ingeniería: la concepción estructural de una edificación histórica forma parte de su valor cultural, pues en ella están contenidos los materiales y técnicas utilizadas en su momento para erigir tal construcción, configurando un documento histórico y un legado vivo de los antiguos constructores (Lourenço, 2013; Lourenço y Peña, 2012; Peña *et al.*, 2010; Peña, 2010).

En el caso del tercer componente: **el uso actual y futuro**, se debe considerar si en la intervención del bien patrimonial se plantea un cambio de uso y como este nuevo uso debe ser compatible con la configuración del mismo, en cuanto a necesidades espaciales, patrón de ocupación de los espacios y acabados de los mismos, que podrían afectar la demanda de cargas actuantes sobre la estructura o cambiar el tamaño y/o forma de los espacios alterando los elementos estructurales y no-estructurales de la construcción. En el contexto de todo lo señalado anteriormente, se realiza un estudio sobre la rehabilitación sísmica de edificaciones históricas en tierra como estrategias de sostenibilidad del patrimonio arquitectónico en la ciudad de Mérida, estado Mérida, Venezuela.

2. MARCO METODOLÓGICO

La materialización de la rehabilitación sísmica debe observar una serie de principios pautados en la carta del ICOMOS: "*Principios para el análisis, conservación y restauración estructural del patrimonio arquitectónico*" (ICOMOS, 2003), que comprende tres partes: la primera, siete (7) criterios generales (Cuadro 1); la segunda, donde se establecen las características de la investigación y diagnóstico; y la tercera parte, en la cual se caracterizan las medidas correctoras y de control de las intervenciones en el patrimonio arquitectónico.

Los primeros cinco criterios explican la restauración estructural del patrimonio arquitectónico no como un fin en sí misma, más si un medio para un fin: la conservación de la edificación como un todo, que debe ser entendida de manera holística y multidisciplinar, es decir: conservar la integridad y relación de todos los elementos que la componen, considerando su valor patrimonial dentro del contexto cultural en que se creó y se ha mantenido hasta el momento. El criterio 6, expone las características de los procesos de información del proyecto así como de su ejecución y seguimiento, comprendiendo una serie de pasos, similares a los de la medicina:

anamnesis (interrogatorio del enfermo, por parte del médico sobre su enfermedad, posibles antecedentes, etcétera, para fundamentar el diagnóstico) (OCEANO, 1996); diagnosis (causa de las patologías observadas); terapia (medidas correctivas de las patologías); y control (protocolo de observación de la adecuación y eficiencia de las medidas correctivas). Finalmente, el criterio 7, cierra con la consideración necesaria de la evaluación a priori de las actuaciones en el proyecto para equilibrar los beneficios o perjuicios que el mismo pueda tener en el patrimonio arquitectónico; es muy relevante en este criterio que incluso luego de daños causados por terremotos y la ruina inminente del patrimonio, las actuaciones propuestas no produzcan una modificación irreversible de las estructuras.

CUADRO 1. Criterios generales para el análisis, conservación y restauración de las estructuras del patrimonio arquitectónico. Fuente: ICOMOS (2003).

| Criterios generales | |
|---------------------|---|
| 1 | La conservación, consolidación y restauración del patrimonio arquitectónico requieren un tratamiento multidisciplinar. |
| 2 | El valor y la autenticidad del patrimonio arquitectónico no pueden fundamentarse en criterios predeterminados porque el respeto que merecen todas las culturas, requiere que el patrimonio material de cada una de ellas sea considerado dentro del contexto cultural al que pertenece. |
| 3 | El valor del patrimonio arquitectónico no reside únicamente en su aspecto externo, sino también en la integridad de todos sus componentes como producto genuino de la tecnología constructiva propia de su época. De forma particular, el vaciado de sus estructuras internas para mantener solamente las fachadas no responde a los criterios de conservación. |
| 4 | Cuando se trate de realizar un cambio de uso o funcionalidad, han de tenerse en cuenta, de manera rigurosa, todas las exigencias de la conservación y las condiciones de seguridad. |
| 5 | La restauración de estructuras, por lo que se refiere al Patrimonio Arquitectónico, no es un fin en sí misma, sino un medio al servicio de un fin que no es otro que el elemento construido en su conjunto. |
| 6 | Las peculiaridades que ofrecen las estructuras arquitectónicas, con su compleja historia, requieren que los estudios y propuestas se organicen en fases sucesivas y bien definidas, similares a las que se emplean en medicina: anamnesis, diagnosis, terapia y control. Éstas son aplicadas a la correspondiente búsqueda de datos reveladores e información; determinación de las causas de deterioro y degradación; elección de las medidas correctoras, y control de la eficacia de las intervenciones. Para conseguir un equilibrio óptimo entre el coste y los resultados y producir el mínimo impacto posible en el patrimonio arquitectónico, utilizando los fondos disponibles de una manera racional, se hace normalmente necesario repetir estas fases de estudio dentro de un proceso continuado. |
| 7 | No deben emprenderse actuaciones sin sopesar antes sus posibles beneficios y perjuicios sobre el patrimonio arquitectónico, excepto cuando se requieran medidas urgentes de protección para evitar la ruina inminente de las estructuras (por ejemplo, tras los daños causados por un sismo); no obstante, se tratará de evitar que tales medidas urgentes produzcan una modificación irreversible de las estructuras. |

Las características de la investigación y diagnóstico comprenden nueve principios, partiendo del carácter pluridisciplinario del equipo que debe desarrollar los estudios y evaluaciones, recomendando la actuación del mismo desde las primeras fases del proyecto, cuya conformación dependerá del tipo y envergadura del problema. Estos procesos deben ser llevados a cabo de forma equilibrada, prudente y ponderada con la finalidad de establecer un plan integral de actuación para los problemas observados y discutidos en las estructuras a intervenir, el conocimiento de las mismas, así como sus técnicas y materiales originales deben ser estudiadas en profundidad, con su respectiva evolución e intervenciones a través de su historia, los estudios y evaluaciones deben apoyarse en métodos de investigación histórica de carácter cualitativo y cuantitativo, siempre teniendo como premisa que la mejor forma de actuar ante una degradación observada es la de atacar el origen de tal degradación y no sus efectos. La evaluación de la seguridad es esencial y debe tener un carácter integral y holístico tomando en cuenta las conclusiones de los estudios cualitativos y cuantitativos; en todo caso, toda la información recabada en estos estudios y evaluaciones, se recomienda quede plasmado en un documento denominado “memoria informativa”.

Las medidas correctoras (también denominadas terapias, siguiendo la similitud con los procesos en la medicina) y de control, se centrarán en la raíz del problema y no en sus síntomas, persiguiendo la aplicación de medidas de mantenimiento preventivo en cuanto sea posible; toda medida debe ser controlable durante y después de su aplicación debiendo ser comprobada como indispensable y proporcional a los objetivos de seguridad establecidos, limitándose al mínimo indispensable que garantice la seguridad y perdurabilidad del bien con el menor daño posible a sus valores patrimoniales. Estas medidas, denominadas también como actuaciones o intervenciones se fundamentan en una comprensión clara sobre la clase de factores que causaron el daño y la degradación, así como de los que hayan de tenerse en cuenta para analizar la estructura luego de las intervenciones, siendo que el proyecto debe realizarse y ejecutarse en función de todos ellos. Las posibles alternativas de utilización de técnicas “tradicionales” o “innovadoras” deben sopesarse en una base caso por caso teniendo preferencia las de menor invasión y mayor compatibilidad con los valores del bien intervenido, sin dejar de lado las exigencias impuestas por la seguridad y la perdurabilidad; las medidas deben ser, en lo posible, reversibles y en caso de no serlo no deberán limitar la ejecución de otras medidas posteriores.

Las características de los materiales a utilizar en la obra de restauración deben determinarse a completitud, así como su compatibilidad con los materiales existentes (efectos a largo plazo). Los elementos patrimoniales deben ser conservados en lo posible, siempre evitando la destrucción de elementos diferenciadores característicos de las edificaciones y de su entorno en estado original, respetando el concepto, las técnicas y los valores históricos de la configuración primigenia de la estructura, dejando evidencias que puedan ser reconocidas en el futuro; las imperfecciones y alteraciones que se hayan convertido en parte de la historia de la edificación deberán mantenerse, siempre que no atenten contra las exigencias de seguridad; las estructuras arquitectónicas deterioradas deben, en lo posible, ser reparadas mas no sustituidas, la alternativa de desmontar y volver a montar elementos debe aplicarse solo cuando la naturaleza propia de los materiales así lo exija y siempre que su conservación por otros medios sea imposible o perjudicial; cuando se apliquen sistemas de protección provisional éstos deben servir a su propósito sin causar perjuicios a los valores patrimoniales. En resumen, la intervención debe responder a un plan integral de conjunto considerando de manera equilibrada la arquitectura, la estructura, las instalaciones y la funcionalidad. Toda intervención debe ir acompañada de un plan de control a ser aplicado durante la ejecución de la misma, aquellas medidas que no sean factibles de control deben ser descartadas por la incertidumbre que generarían en el proceso, puesto que, durante y después de la intervención deben ejecutarse supervisiones y comprobaciones sobre la eficacia de los resultados, estas actividades de control deben ser registradas documentalmente y conservadas como parte de la historia de la construcción.

Es notable como este documento proyecta una aproximación metodológica que cubre los aspectos fundamentales y esenciales de las posibles intervenciones estructurales del patrimonio arquitectónico, donde las decisiones sobre las actuaciones deben ser informadas, evaluadas y sopesadas desde su ideación, concreción y ejecución, con un control permanente y evaluación de la efectividad de las mismas en todas sus fases, abarcando hasta la evaluación posterior del bien intervenido.

Lourenço (2013), considera que esta aproximación metodológica para la definición de las medidas remediales respectivas, debe seguir una serie de pasos que incluyen: **1.** Adquisición de datos: información e investigación; **2.** Investigaciones históricas, arquitectónicas y estructurales; **3.** Relevamiento de la estructura (levantamiento planimétrico de sus características, forma, materiales y estado actual); **4.** Investigación de campo y ensayos de laboratorio; **5.** Monitoreo.

El diagnóstico y la estimación del nivel de seguridad de la estructura son pasos esenciales, consecutivos e interrelacionados en base a los cuales se determina la necesidad y extensión de las medidas a aplicar y en caso de ser desarrolladas incorrectamente, las decisiones serían arbitrarias, esto es, el mal juicio bien podría resultar en unas intervenciones excesivamente conservadoras y pesadas para el bien a intervenir o no tendrían los niveles de seguridad requeridos para su conservación. Como en todo análisis de construcciones existentes a la luz de normativas, como por ejemplo, la norma sísmica, la evaluación de los niveles de demanda y comportamiento de las estructuras deben ser hechas con sumo cuidado contrastando estudios cualitativos y cuantitativos, siempre requiriendo investigaciones de campo, ensayos de laboratorio y modelación numérica para tener alguna certidumbre y representar un modelo verificable cercano a la realidad, este modelo debe abarcar desde las posibles acciones en la edificación, pasando por los posibles estados tensionales internos de la estructura, la resistencia de sus materiales, hasta llegar al nivel de seguridad requerido para el bien a intervenir (Figura 1).

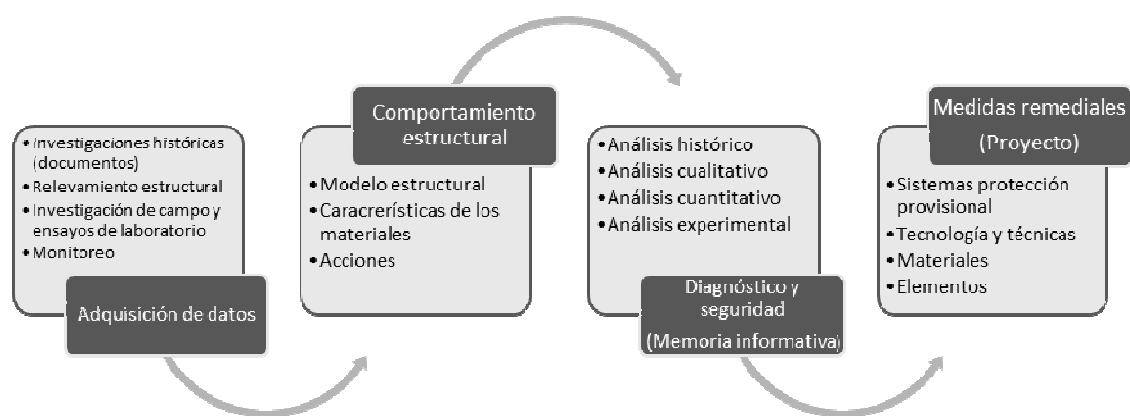


FIGURA 1. Metodología ICOMOS. Fuente: Elaboración propia a partir de Lourenço (2013).

El conocimiento sobre la estructura debe ser contrastado desde diferentes puntos de vista: histórico, estructural y material, con un enfoque holístico e interdisciplinario que configure medidas remediales sopesadas e integradas.

Los principios buscan asegurar el valor patrimonial dentro del contexto cultural propio de su entorno como herencia cultural, que debe ser sostenida para las generaciones del presente y del futuro. Estos principios y su aplicación son revisados para dos casos de estudio en Mérida, Venezuela.

3. CASOS DE ESTUDIO

Los casos de estudio fueron seleccionados por ser de los primeros casos de restauración que se han realizado en la ciudad de Mérida, con proyectos de rehabilitación sísmica diseñados por equipos multidisciplinarios; siendo además dos tipologías arquitectónicas diferentes: uno de arquitectura religiosa como lo es una capilla en las afueras de la ciudad, la *Capilla de Las Mercedes, El Vallecito*; y otra, de arquitectura civil, la antigua *casa principal del general Paredes* construida en una planta, representativa de la época colonial en el casco histórico de la ciudad. El sistema constructivo de ambas edificaciones, es común: tapia, con techos en armaduras de madera. A continuación, se expondrán las características técnicas del sistema constructivo, con sus deficiencias o vulnerabilidades y las posibles medidas remediales que se pueden aplicar, como preámbulo a la descripción de las intervenciones para los casos de estudio.

3.1. SISTEMA CONSTRUCTIVO EN TAPIA CON TECHO DE ARMADURAS DE MADERA

El sistema constructivo en tapia con techo de armaduras de madera (de ahora en adelante: sistema constructivo en tapia), es representativo de la tradición arquitectónica venezolana desde la época del contacto con la cultura colonial española, diseminado por el territorio (que ahora es Venezuela) y en sus ciudades principales fundadas desde el Siglo XV. Una gran proporción de las edificaciones de las ciudades fueron construidas en este sistema en las épocas colonial, de independencia y de federación en diferentes regiones del país, agrupando edificaciones tanto civiles como religiosas (Castillo, 1983), estas últimas de gran importancia dentro del ambiente construido por ser los lugares de mayor concentración de población en las ciudades de su época.

3.1.1. Descripción técnica del sistema constructivo en tapia

Es un sistema de muros, sobre fundaciones superficiales o cepas (profundidades no mayores a 1,0 m) de piedra colocada (a veces desbastada) y unida por argamasa de piedra, arena y cal; los muros se ejecutan en tierra apisonada sobre una obra de fábrica en piedra y/o ladrillo dispuesta sobre el cimiento (sobre-encepado o reparto) que, a la vez de proteger las tapias de la humedad del terreno y las salpicaduras de los techos, sirven como guía para armar el tapial (encofrado).

Los muros se ejecutan fabricando bloques grandes (aproximadamente de 2 m de longitud, por 0,60 m de espesor y 1,20 m de altura, denominados: dientes) que son apisonados individualmente, y por capas (tongadas) utilizando un sistema de encofrado en madera o tapial, conformando hiladas horizontales de dientes sobre todas las fundaciones respetando espacios vacíos para puertas y ventanas. El crecimiento vertical de las hiladas, se produce en trabazón con la hilada inferior, y se fabrica hilada por hilada en crecimiento vertical. En las esquinas o cruces de los muros se producen trabazones de los dientes, reforzados con piedras alargadas que se colocan dentro de los tapiales al pisar la tierra, de manera que esas piedras aseguren la continuidad horizontal entre los dientes encontrados ortogonalmente; también se utilizan en las esquinas unas estructuras especiales fabricadas en mampostería careada de ladrillos cocidos con el interior en piedras que hacen las veces del cruce ortogonal del muro, con diseño en espina de pescado, sobre cuyas caras inclinadas se apisonan los dientes del cruce, siendo prácticamente unos machones fabricados para reforzar las esquinas.

Es muy común que cada tres hiladas se coloque una capa en ladrillos cocidos como banda de refuerzo, denominada “*rafa*”. Vanos de puertas y ventanas son cerradas por la parte superior con al menos una hilada de dientes, soportadas en el vano con dinteles, construidos en piezas de madera aserrada. Las alturas totales de las tapias generalmente no exceden once veces su espesor, y al alcanzar su altura total, se nivelan por su parte superior y son coronadas con un durmiente de madera aserrada denominada “*solera*” que servirá de asiento a la estructura en madera entramada del techo.

El entramado del techo sigue la forma clásica de dos aguas (con inclinaciones entre 35º y 45º) en reparto de viguetas o pares, en madera aserrada o rolliza con cumbrera en similar trabajo, ayudadas por tirantes de solera a solera, alzaprimas y pendolones en arreglos triangulares con los pares, o en algunos casos con el sistema de pares y nudillos. Sobre el reparto de las viguetas se arma una superficie en caña brava o tabloncillos como cerramiento, sobre el cual se coloca una

capa de barro preparado que servirá de asiento a las tejas. El reparto de la planta generalmente se configura en composición de crujías rectangulares cuyos perímetros lo conforman las tapias, generando espacios encerrados por éstas últimas.

3.1.2. Desempeño sísmico del sistema constructivo en tapia

64

El sistema de tapia, como todo sistema clásico de muros fue ideado para cargas gravitatorias, su desempeño ante fuerzas horizontales (como las fuerzas de origen sísmico) es relativamente pobre, fundamentalmente por ser un sistema que funciona a compresión, siendo poco resistente a los esfuerzos de flexión y cortante. La configuración geométrica de los muros: relaciones proporcionales de esbeltez (sección transversal) y, entre la altura y la longitud, no arriostrada de los mismos pueden representar debilidades, así como también el gran peso de los sistemas de techumbre.

Estas debilidades, vulnerabilidades, o mejor dicho, en términos de la Norma COVENIN 1756:2001-2 Edificaciones sismorresistentes (COVENIN, 2001a): son deficiencias, que se observan particularmente, aunque no de manera exclusiva, en tipologías religiosas donde el formato de la arquitectura debe ser imponente en altura y en luces entre los muros, esto no sólo por la naturaleza de las actividades multitudinarias para desarrollar los ritos religiosos, sino también por el significado y características del espacio tipo basílica en el mundo occidental.

En muros altos y largos (también verificables en la tipología de casa principal), se presenta una vulnerabilidad del tipo movimiento fuera del plano, producida por la flexión vertical excesiva del muro cerca de las regiones centrales no arriostradas lateralmente con cruce de muros, generada por la aceleración de la masa del muro y el gran peso de la techumbre que se suma a esta masa. Este movimiento, es capaz no sólo de producir daños en el muro con agrietamientos verticales y derrumbes parciales, sino también el desacoplamiento y desarme de la armazón del techo y su posible caída.

Así mismo, se pueden generar importantes concentraciones de esfuerzos en los cruces de los muros, generando grietas y derrumbes parciales, y consecuentemente, la pérdida de la trabazón en los muros que los libera contra movimientos fuera del plano. Otro elemento que identifica deficiencias son las horadaciones de los muros (puertas y ventanas), que de ser excesivas o estar muy cerca o en intersecciones de los muros, disminuyen considerablemente su capacidad

de resistir y transmitir esfuerzos. El control de humedades en la muratura es esencial en su desempeño sísmico, pues el ataque del agua debilita la resistencia del material compactado llegando incluso a la disgregación del muro y su consecuente pérdida de continuidad material.

El sistema de techos es esencial en el desempeño sísmico, lo ideal es que la techumbre se comporte como un diafragma rígido que garantice la transmisión y repartición de las fuerzas y deformaciones horizontales hacia las tapias paralelas al movimiento; sin embargo, este comportamiento es poco probable por ser la armadura un sistema ensamblado en carpintería (uniones cuando mucho clavadas) que además requiere de una estricta conservación; en muchas de las estructuras que han sufrido daños por efecto de terremotos, se han observado daños preliminares por ataque de humedad y de agentes xilófagos (hongos e insectos), que han debilitado la capacidad de la techumbre para mantener su integridad física y funcionamiento, afectando gravemente su desempeño en la transmisión y distribución de las fuerzas generadas por los sismos hacia las tapias.

Otra característica importante en el comportamiento sísmico de estructuras de este tipo, lo representa la forma general en planta de las trazas de sus muros, en cuanto la planta se configure como un rectángulo (con relaciones proporcionales ancho/largo no mayores de 1/4) tanto más regular será la distribución de esfuerzos generados por las cargas sísmicas; sin embargo, configuraciones en planta de formas complejas como "L", "T", "U" o en cruz, generarán grandes concentraciones de esfuerzos en las esquinas entrantes de las intersecciones de muros al generarse movimientos muy diferenciados, la mayor de las veces incompatibles, entre sus diferentes partes o alas.

Estas deficiencias del sistema estructural fueron observadas, de manera indirecta, en los registros de los daños ocasionados por el gran terremoto de 1812 en Venezuela, entre los cuales se recoge que en Caracas tres quintas partes de las casas (mayoritariamente construidas con paredes de tapia y techos de teja) fueron arrasadas, así como la mayoría de las iglesias de la ciudad, acusando que la mayoría de los daños en las edificaciones parecieron estar relacionados con la calidad de las construcciones; y en las casas, particularmente las de las clases media y alta, sufrieron daños considerables por poseer techos muy altos y pesados, apuntalados débilmente por estructuras de troncos delgados, por lo que se infiere que la mayor parte de los daños y víctimas asociadas se debió a la caída de los techos (Altez, 2006).

3.1.3. Medidas remediales para mitigar deficiencias del sistema de tapia

La exposición de las posibles estrategias de mitigación sísmica aplicables se separa en los dos componentes básicos del sistema constructivo: muros y techos. También es importante aclarar que podrían proyectarse estrategias novedosas no contempladas en este trabajo, debido, por un lado, a la casuística de cada proyecto de rehabilitación estructural, y por el otro, a la capacidad creativa del equipo multidisciplinario que trabaja en la resolución de proyectos.

66

3.1.3.1. Medidas remediales para mitigar vulnerabilidades en muros de tapia

La vulnerabilidad más extendida en los muros es la fragilidad de los mismos debida a sus relaciones proporcionales, esto es: las relaciones de aspecto en sección transversal y en el plano del muro, donde ambas pueden ser superadas aumentando la capacidad de las secciones. La estrategia clásica para aumentar la capacidad del muro es practicando contrafuertes, en material similar o compatible, para incrementar la resistencia a flexión fuera del plano del muro; sin embargo, esta no es siempre aplicable, pues puede que no haya espacio para tal refuerzo, o también porque alteraría las características arquitectónicas de la edificación cambiando su volumen y apariencia.

Otras modalidades de refuerzo corresponden a: la colocación de vigas de corona en concreto armado o madera sobre las cabeceras de las tapias para incrementar su resistencia fuera del plano; el confinamiento de las caras del muro en concreto armado (bien sea por medio del encamisado de una sola o las dos caras del muro con capa de concreto armado); o con piezas de madera, en arreglos semejantes a vigas y columnas o por medio de mallas recubiertas de cal; estas estrategias alteran la volumetría del muro y son impracticables por ambas caras del mismo cuando el muro está enlucido con obras de arte permanentes (Gómez *et al.*, 2016; Peña y Lourenço, 2012).

Adicionalmente, se puede aplicar la inserción de columnas en concreto armado dentro de los muros, sin embargo, esta aproximación requiere que se destruya la continuidad horizontal del muro (trabazón de dientes de tapia) en ciertos lugares clave, además de representar un cambio en la manera cómo funcionan los muros, pues dejarían de funcionar como tal y pasarían a trabajar como un cerramiento entre machones, recordemos que dentro de los criterios generales de la Carta ICOMOS (ICOMOS, 2003), se establece que el valor del patrimonio

arquitectónico no está solo en su apariencia, sino también en la integridad de todos sus componentes como producto único de la tecnología constructiva propia de su época.

3.1.3.2. Medidas remediales para mitigar vulnerabilidades en techos

Las estructuras de techumbres, en su mayoría, tienen la bondad de ser trianguladas para producir las dos aguas, sin embargo, las uniones entre sus miembros no son todo lo robustas que deberían ser (por construcción o conservación), y la esbeltez excesiva de algunos miembros, representan ambas, vulnerabilidades; estas pueden ser reducidas por vía de la sustitución de uniones y elementos que conforman el entramado del techo, para producir un elemento rígido (diafragma) que conecte las tapias por su parte superior, con capacidad de transmisión y distribución de fuerzas horizontales hacia el sistema de sostén vertical (tapias). Además se requiere que la conexión entre el sistema de techos y los muros sea lo suficientemente robusta para garantizar esta transmisión y distribución de fuerzas inerciales, por lo que generalmente se proponen durmientes sobre las cabeceras de los muros capaces de mantener unido todo el sistema techo-muro.

Siendo el peso del sistema de techo otro elemento que introduce vulnerabilidad, es recomendable buscar disminuir la masa del techo por vía de morteros para asiento de las tejas con menor densidad.

Es importante acotar que a pesar de abordar medidas remediales para mejorar el desempeño sismorresistentes de las arquitecturas como las descritas, es improbable generar niveles de seguridad similares al de una edificación nueva (Ruiz *et al.*, 2012).

En la Norma Venezolana COVENIN 1756:2001-1 edificaciones sismorresistentes, parte 1: requisitos (COVENIN, 2001) y COVENIN 1756:2001-2 edificaciones sismorresistentes, parte 2: comentarios (COVENIN, 2001 a), se dedica el capítulo 12 a las edificaciones existentes, dentro de las cuales entrarían todas las edificaciones construidas antes de la entrada en vigencia de esa norma o de la norma anterior Norma COVENIN 1756 "Edificaciones antisísmicas" del año 1982, a pesar que la norma sólo considera las estructuras en concreto armado o en acero, se entiende que los niveles de demanda sísmica por zonificación deben ser cumplidos, así como el análisis del desempeño sísmico de las estructuras en cuestión.

De hecho, se exponen las provisiones que deben cumplir las edificaciones existentes tales como: niveles de diseño, sismos de diseño (según zonificación sísmica), evaluación de las deficiencias y, finalmente, análisis y verificación de las deficiencias, en función de proponer la rehabilitación estructural y los reforzamientos necesarios, entre los cuales tenemos: **a.** Reparación mediante reemplazo o restauración de material dañado, incluyendo inyección de materiales selladores, etcétera; **b.** Incremento en la resistencia de las conexiones por cambio de conectores; **c.** Incremento de espesores o dimensiones en miembros.

Adición de refuerzos, incluyendo forramiento con acero estructural o concreto confinado; **d.** Incorporación de anclajes mecánicos; **e.** Sustitución de conexiones a corte por conexiones a momento; **f.** Consolidación del terreno mediante inyecciones; **g.** Transformación de pórticos en sistemas de muros o pórticos arriostrados; **h.** Adición de nuevos planos resistentes de pórticos, muros o pórticos diagonalizados; **i.** Adición de diafragmas; **j.** Adición de zapatas, pilotes o anclajes en fundaciones; **k.** Supresión de niveles o plantas de la edificación. Si bien, varias de estos tipos de reforzamiento estructural son específicos para estructuras existentes en concreto armado o en acero estructural, algunas de ellas, son susceptibles de ser utilizadas en el sistema de tapia que nos ocupa en esta investigación, como se verifica en las medidas remediales comunes expuestas anteriormente para estos sistemas.

Seguidamente, se exponen las edificaciones que comprenden los casos de estudio de este trabajo.

3.2. CAPILLA DE LAS MERCEDES, EL VALLECITO, MÉRIDA, VENEZUELA

La capilla de Las Mercedes lleva su nombre en honor a la Virgen Patrona de la localidad, ubicada al Norte de la ciudad de Mérida, en el flanco Noreste del valle del río Mucujún, sobre la cual se asienta la comunidad agrícola de El Vallecito. El año de construcción data de 1930, y a pesar de haber sido construida en el S. XX, su organización espacial y sistema constructivo, así como las técnicas constructivas son las mismas que las utilizadas en la época colonial, con diferencias en su acabado ornamental, siendo en esta capilla muy sencillo y rudimentario (Castillo, 1983).

Su planta es rectangular, con dimensiones de 10 m de ancho (fachada) por 40 m de largo, en esta se verifican tres cuerpos de diferentes alturas sobre su longitud: la nave (28 m de largo por 8 m de altura), el presbiterio (8 m de largo por 10 m de altura) y la sacristía (4 m de largo por 6

m de altura), las tapias tienen un espesor de 0,80 m; la fachada, está rematada por una espadaña y presenta cuatro pilastras en arreglo par a ambos lados de la puerta. Los techos ejecutados en madera rolliza en arreglo de pares y nudillos sobre la nave principal, y a cuatro aguas sobre el presbiterio (Figura 2).

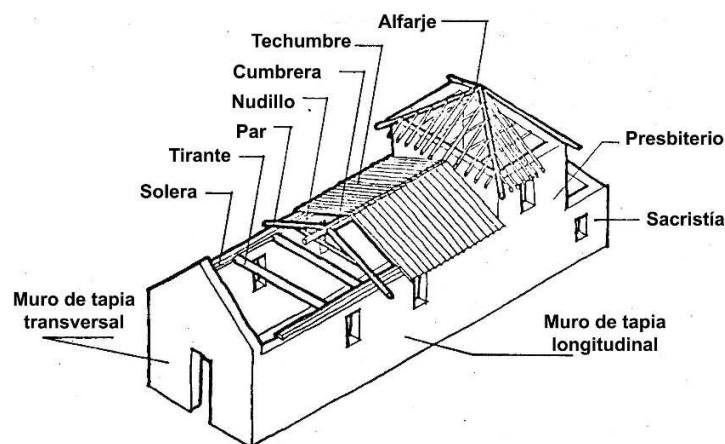


FIGURA 2. Isometría de capilla de Las Mercedes. Fuente: Imagen desarrollada por el autor a partir de Castillo (1983).

La rehabilitación sísmica de la capilla de Las Mercedes se origina por los daños sufridos en la edificación debidos a un sismo de magnitud $M = 4.7$ e intensidad local de $I = VI$, ocurrido el 05 de mayo de 1979. Los daños observados en la capilla luego del sismo concuerdan con los esperados en una configuración de este tipo, según (Castillo, 1983) “...produciéndose específicamente grietas verticales por flexión a todo lo alto de la intersección de los muros de tapia longitudinales y transversales. Desde esta fecha, la capilla representaba un gran peligro para la feligresía de la comunidad pues su estado de vulnerabilidad era extremo” (Figura 3).

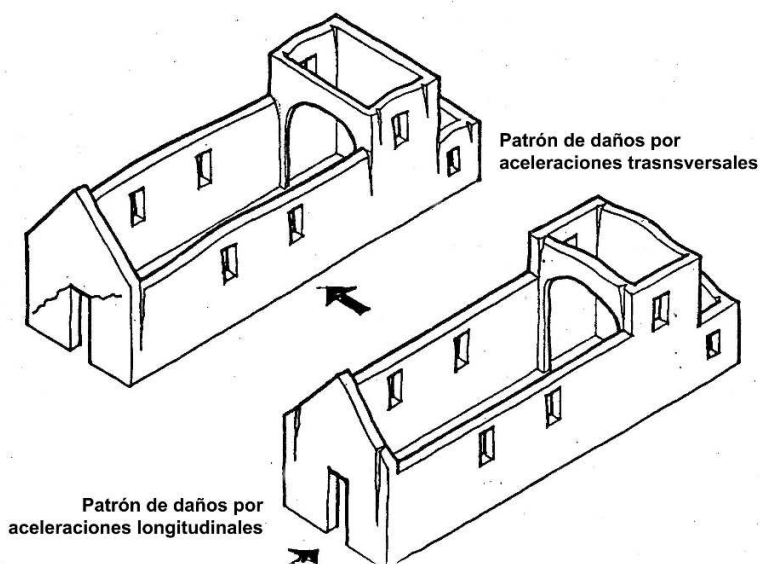


FIGURA 3. Patrón de daños observados en la capilla de Las Mercedes. Fuente: Imagen desarrollada por el autor a partir de Castillo (1983).

El terremoto del 05/05/1979, motivó al gobernador del estado Mérida a crear, por decreto, una comisión multidisciplinaria denominada *Comisión Especial de Asesoría para la Prevención de Riesgos Sísmicos* (CEAPRIS). La misma estuvo conformada por ingenieros, arquitectos, científicos y otros profesionales y técnicos quienes comenzaron a trabajar en los planes de prevención, preparación y mitigación sísmicas para el estado Mérida. Esta comisión, en el año de 1983 es comisionada para desarrollar un proyecto de reforzamiento de la capilla, luego de revisar una propuesta de reforzamiento y reconstrucción del año 1982 desarrollada por una oficina técnica de la Gobernación del Estado Mérida, que por sus características poco respetuosas con la edificación (eliminaba algunos elementos característicos de la capilla, como la fachada, y cambiaba considerablemente las proporciones volumétricas de la misma (Castillo, 1983). Las medidas remediales propuestas por esta comisión se centraron en consolidar los muros desacoplados por el daño sísmico, complementar la capacidad de los mismos y sustituir la estructura del techo (originalmente en madera rolliza, de bajos diámetros y en mal estado de conservación), la construcción del proyecto de rehabilitación sísmica concluyó el año de 1985.

El proyecto propone diferentes elementos (medidas remediales) para la rehabilitación sísmica de la edificación, consistentes en: **1.** El reenlace de las intersecciones de muros longitudinales y

transversales (ver patrón de daños en Figura 3) con columnas en concreto armado hincadas en el terreno hasta alcanzar la profundidad de las fundaciones por su cara inferior; **2.** Sustitución de soleras en madera coronando los muros con una viga-durmiente en concreto armado sobre todas las coronas de los muros con un par de alas (de 10 cm de espesor) que se proyectan sobre las caras de los muros (40 cm) para producir el anclaje a la viga y confinamiento superior de los mismos; **3.** Construcción de muros de corte en concreto armado detrás de la fachada (encamisado de la cara interior de la fachada con capa de concreto de 10 cm de espesor y malla electro soldada de acero estructural, con anclajes pasadores por las agujeras del muro hasta la cara frontal de la fachada), y en la parte anterior del presbiterio un muro horadado por un arco, estos muros se anclan a las columnas laterales a los mismos (Figura 4); **4.** Confinamiento de las fundaciones por medio de vigas de riostra en el perímetro interno de los muros longitudinales y transversales; **5.** Friso continuo de concreto armado de espesor 5 cm con malla electro soldada de acero estructural por ambas caras de los muros longitudinales y transversales, a excepción del muro de la fachada principal, estos frisos se conectan con las alas de las vigas de corona por la parte superior de los muros y por la parte inferior, hacia el exterior anclándose al terreno y hacia el interior, continuando horizontalmente como base del piso de la capilla; **6.** Las características del concreto armado para todas las piezas es: concreto de resistencia $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$, acero con límite de fluencia $Fy = 2800 \text{ kg/cm}^2$; **7.** Sustitución de las armaduras del techo de madera rolliza por madera estructural aserrada.

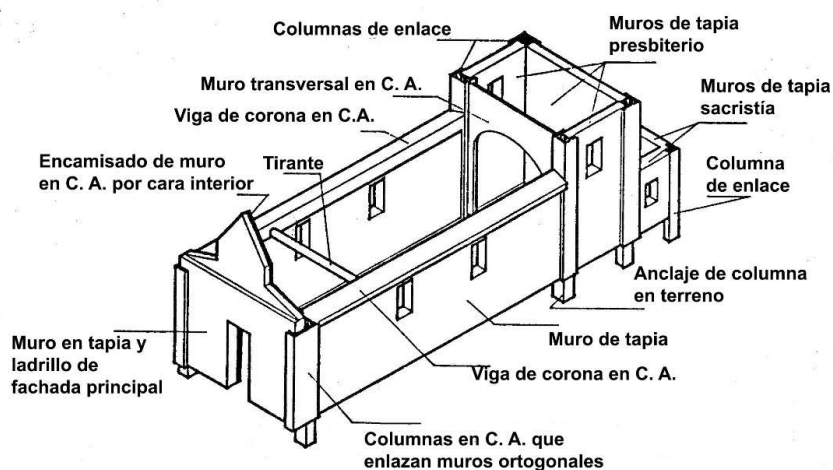


FIGURA 4. Medidas remediales para la capilla de Las Mercedes. Fuente: Imagen desarrollada por el autor a partir de Castillo (1983).

3.3. CASA PAREDES, MÉRIDA, VENEZUELA

La casa Paredes es una edificación declarada desde el año 1962 como Patrimonio Histórico Nacional. Su uso fue de vivienda hasta la penúltima década del siglo XX, entre los años 1991 y 1992 fue comprada por el gobierno regional para desarrollar su restauración (Díaz, 2006). Se conformó en su momento, desde la gobernación un equipo multidisciplinario para su restauración, coordinado por el arquitecto Gustavo Díaz Spinetti, profesor de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Los Andes; este equipo estuvo conformado por arquitectos, ingenieros, historiadores, antropólogos y estudiantes de Arquitectura y de Historia de Venezuela. Es importante acotar que el autor de esta investigación formó parte de este equipo multidisciplinario, es por ello, y ante la ausencia de documentos sobre la restauración de la casa Paredes, que los datos contenidos en este estudio son parte de su experiencia profesional con información corroborada por el arquitecto Gustavo Díaz Spinetti, y algunos documentos (planos y bocetos) del archivo personal del autor.

La casa Paredes se encuentra ubicada dentro del casco histórico de Mérida, a dos manzanas de la plaza Bolívar, en la esquina de la avenida 4 Bolívar con la calle 20 Federación, ocupando un cuarto de manzana. Su fachada principal sobre la avenida 4 tiene una longitud de 42,6 m (cuarenta y dos metros con sesenta centímetros), y sobre la calle 20, 47,8 m (cuarenta y siete metros con ochenta centímetros). El edificio consta de tres patios: el principal, con doce columnas en arreglo cuadrado de aproximadamente 12 m de lado, alrededor del cual se disponen en tres de sus flancos (sobre la avenida 4, sobre la calle 20, y perpendicular a esta) igual número de crujías que contienen habitaciones interconectadas por vanos de puertas y que comunican hacia los corredores del patio principal con vanos de puertas; dos traspatios, uno de planta rectangular hacia el fondo de la calle 20 por detrás de la crujía ortogonal a esa calle con tres corredores, otro al fondo del terreno (esquina interna) con tres corredores y un patio lateral, también rectangular en planta con tres corredores colindantes con una crujía que limita con el lindero sur de la implantación (Figura 5). Tiene un total de área de implantación de 2.036 m² (dos mil treinta y seis metros cuadrados) con un superficie techada de 1.556 m² (un mil quinientos cincuenta y seis metros cuadrados) dividida en 915 m² (novecientos quince metros cuadrados) de espacios encerrados por tapias (crujías) y 641 m² (seiscientos cuarenta y un metros cuadrados) de corredores.

La altura de las tapias es de 5,5 m (cinco metros con cincuenta centímetros) y su espesor es de unos 60 cm (sesenta centímetros), la altura total hasta la cumbrera es de 8 m (ocho metros).

Presenta una singularidad única en las casas de su época en el acceso principal de la avenida 4, compuesto por un portal de piedra arenisca labrada en sillares regulares, y cubriendo la esquina de esa avenida con la calle 20, un arreglo de sillares de idéntica fábrica al portal (Díaz, 2006).

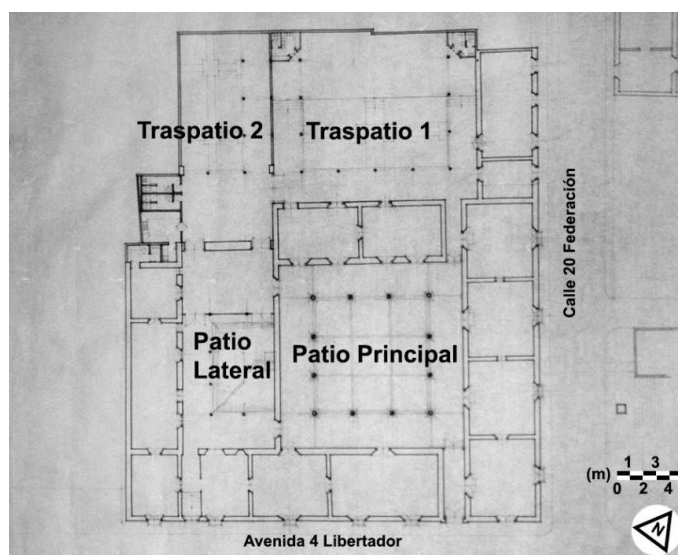


FIGURA 5.Planta de la casa Paredes. Fuente: Imagen a partir de foto de un plano de proyecto.

El estado de conservación de la edificación al momento de iniciar los trabajos de restauración era de abandono (una de las consecuencias de su declaración como monumento histórico, pues desde entonces, toda intervención estuvo limitada por el visto bueno e inspección del estado), y una de sus partes, la denominada Casa Bosset, que fungía como sede de un partido político, fue destruida por saqueo e incendio a mediados de la década de 1980, perdiendo la mayor parte del techo y quedando expuestas las tapias.

En el resto de la edificación el sistema de techos se encontraba en estado deplorable, con la madera del techo muy debilitada por el estado de descomposición debido a efectos de la humedad (tejas descolocadas y faltantes), el ataque de hongos e insectos; piezas con flechas excesivas (mayoritariamente los pares del techo, debido además, al espesor excesivo de la capa de tierra que servía como asiento de las tejas); y en general, el sistema de armadura bastante desarticulado (daños en las uniones) y en peligro de caída por peso propio. Las tapias, a pesar

del mal estado del techo conservaban su integridad física mayoritariamente, salvo algunos dinteles de puertas que se encontraban carcomidos por hongos e insectos. El proyecto de restauración de la casa Paredes configuró un nuevo uso al inmueble: el de ser un espacio expositivo y para el desarrollo de actividades culturales, albergando dentro de sus predios el Museo de Arte Colonial de Mérida y la Casa Bosset (espacio protocolar y expositivo para la Gobernación del Estado Mérida); el proceso de restauración de la Casa Paredes culminó el año de 1994.

El proyecto de rehabilitación sísmica de la casa Paredes de la ciudad de Mérida consistió de varias acciones que se enumeran a continuación:

- 1.** Confinamiento de las fundaciones o cepas, internamente con vigas de riostra en concreto armado para todo el perímetro interno de las cepas de las tapias, así como el confinamiento particular de cada una de las fundaciones de las columnas del patio principal y exteriormente por medio de pantallas en concreto armado hasta el nivel del zócalo con zapata excéntrica corrida (bajo las aceras) a lo largo de las fundaciones que corren por la calle 20 Federación y por la avenida 4 Bolívar;
- 2.** Vigas de corona en concreto armado para cada una de las cabeceras de todas las tapias (longitudinales y transversales de cada crujía, conformando un anillo continuo), con una sección de 60 cm de base (ancho de las tapias) y una altura de 30 cm, con un dentado longitudinal en su parte inferior para anclarse a las cabeceras de cada tapia, dentro del volumen de concreto se colocaron planchas de acero ancladas con secciones de acero cada 120 cm para fijar, por medio de pernos, las vigas solera en madera que finalmente coronan el sistema de muros (Figura 6);
- 3.** Para los techos se desarrollaron sendas medidas remediales, por un lado, la sustitución de todos los elementos del techo por piezas de madera desbastada y tratada de construcción estructural, con uniones apernadas por medio de planchas y espigas de acero para constituir un diafragma rígido (conformado por las soleras y tirantes) (Figura 7), y por el otro con un sistema de absorción y distribución de fuerzas inerciales (para asistir al diafragma rígido y las tapias) en el patio central principal por medio de la sustitución de las cuatro (04) columnas esquineras del peristilo del patio principal, de doce (12) columnas, con cuatro (04) columnas en concreto armado (con anclajes de seis (6,0 m de profundidad dentro del terreno) reproduciendo la forma y tamaño de las columnas originales. Estas cuatro columnas, se enlazan con la armazón de madera del techo para dar continuidad al sistema resistente horizontal atando las soleras de las tapias perimetrales del patio principal, por medio de limatones en madera estructural aserrada, con las soleras que coronan las columnas del patio (éstas últimas además se enlazan

con las tapias perimetrales del patio). Esta estrategia configura un diafragma que amarra toda la parte superior de la estructura del edificio; adicionalmente, se generan escuadrías rigidizadoras en rolas de madera estructural desbastada para las tapias en cada una de las cuatro esquinas del patio (Figuras 8 y 9); **4.** Las características del concreto armado para todas las piezas es: concreto de resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, acero de refuerzo con límite de fluencia $Fy = 4.200 \text{ kg/cm}^2$.

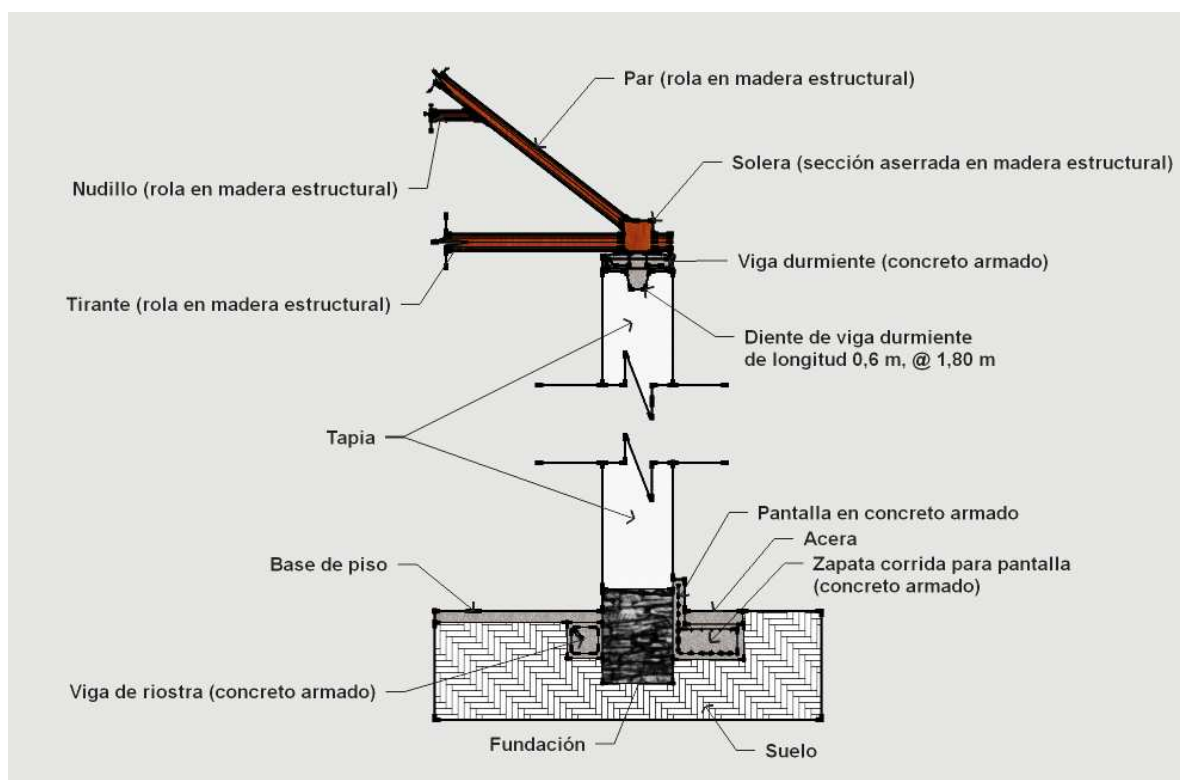


FIGURA 6. Sección típica de tapia, medidas remediales en la fundación y en la corona de la misma. Fuente: Elaboración propia.



FIGURA 7. Estructura de techos compuesta por tirantes (bajo la solera), pares apoyados en soleras unidos por la cumbrera y nudillos, el sistema durmientes de concreto armado, soleras de tapias y tirantes conforman un diafragma rígido conectando las cabeceras de las tapias por medio de los durmientes en concreto armado. Fuente: Elaboración propia.



FIGURA 8. Sistema de enlace columnas esquineras (en concreto armado) con estructura de techos y tapias: limatón (madera estructural aserrada), continuación de la solera del patio (rolas de madera estructural) hacia las tapias y pieza en escuadría entre tapias (rola de madera estructural). Fuente: Elaboración propia.



FIGURA 9. Columnata posterior del patio principal, nótese la diferencia de las columnas esquineras (en concreto armado) con las centrales (en mampostería) y el sistema de enlace con los techos y las tapias en la esquina superior izquierda de la imagen. Fuente: Elaboración propia.

4. ANÁLISIS CRÍTICO DE LAS INTERVENCIONES

A la luz de los principios contenidos en (ICOMOS, 2003), es posible desarrollar un análisis crítico de las intervenciones expuestas arriba, con el fin de establecer su mayor o menos concordancia con los mismos, aprovechando la propuesta de Lourenço (2013), contenida en la sección 2 de este trabajo.

Una característica común muy importante de los casos estudiados es que ambos proyectos de intervención fueron desarrollados por equipos multidisciplinarios, conformados por profesionales en diferentes áreas y especialidades la mayor parte de ellos pertenecientes al equipo docente de la Universidad de Los Andes, así como egresados y estudiantes de esta institución educativa superior.

Al revisar ambas intervenciones, se verifica que tienen varias estrategias en común, como lo son: **1.** Refuerzo de fundaciones por medio de confinamiento por ambas caras en elementos de concreto armado (vigas de riostra o pantallas); **2.** Refuerzo superior de las tapias con vigas durmientes en concreto armado sobre sus cabeceras, con el resultado adicional de servir de firme para fijar la estructura de techo; **3.** La sustitución de la estructura del techo por elementos en madera de construcción con uniones apernadas, con el fin de constituir un diafragma rígido que conecte adecuadamente las tapias por su parte superior.

Estas estrategias de intervención, persiguen mejorar el desempeño sísmico del sistema constructivo de tapia contra: **1.** El descalce de la base de los muros; **2.** Las excesivas deformaciones fuera del plano de los mismos; **3.** Para asegurar la adecuada interconexión de los elementos tipo muro con la estructura de los techos y su correspondiente transmisibilidad de las fuerzas inerciales generadas por los terremotos en el sistema.

Es notable como en ambos casos, tales medidas remediales, a pesar de ser irreversibles en su ejecución, se justifican por el estado de las construcciones previo a la intervención y los niveles de daño observados en las mismas, pues, por ejemplo, la sustitución del techo en ambos casos fue necesaria debido al alto nivel de deterioro observado en muchos de sus miembros; las flechas excesivas en los mismos y el agotamiento del sistema de unión de sus miembros, lo que permitió además insertar el elemento viga durmiente en concreto armado sin tener que destruir parte de la edificación, en todo caso, los niveles de seguridad de las edificaciones se incrementaron a un nivel aceptable con la ejecución de estas medidas.

Para el caso de la capilla de Las Mercedes, las medidas remediales incluyeron además el confinamiento de las caras de los muros con frisos en concreto armado con espesor cinco (5,0) centímetros en las tapias longitudinales y de diez (10) centímetros por detrás de la cara de fachada; la construcción en la parte anterior del presbiterio de un muro transversal de cortante en concreto armado horadado por un arco (anclado a las columnas) y la inserción de columnas de concreto armado en la intersección de los muros.

De estas medidas, la última configura una excesiva intervención en el edificio, pues al incluir un sistema de soporte vertical enlazado a las vigas durmientes sobre los muros, convierte a éstos últimos en cerramientos confinados, haciendo que el sistema pierda su característica como muro de mampostería y se comporte de manera diferente a como fue ideado originalmente, también alterando la volumetría de las fachadas laterales y el valor intrínseco de la edificación

(tal como se verifica en isometría de la figura 4). Esto significa que la aproximación cualitativa y cuantitativa al modelo de comportamiento del sistema constructivo fue, al parecer, conservadora en exceso, no confiando en la configuración, los materiales y las técnicas del sistema (que de hecho, son justamente los valores arquitectónicos y tecnológicos que se pretenden conservar con la restauración), proponiendo entonces una intervención muy pesada que lo desvirtúa en cierta forma, seguramente debido a falta de datos cuantitativos sobre el comportamiento y desempeño del sistema constructivo de tapia (Peña, 2010).

En el caso de la intervención de la casa Paredes, las medidas remediales también incluyeron la de sustitución de las cuatro columnas esquineras del patio principal (originalmente en mampostería de ladrillos cocidos de arcilla) por cuatro columnas idénticas en forma y tamaño, pero en concreto armado y ancladas al terreno con anclajes (6 m dentro del terreno); estas columnas, arriostran lateralmente el diafragma del techo por medio del enlace con las vigas soleras de los corredores del patio principal que conectan cada uno de los extremos superiores de las columnas con las tapias del corredor a la altura de la solera del mismo, y también, con las soleras de las tapias; esta medida, a pesar de parecer excesiva, no se considera como tal, pues se aplica en función de proveer resistencia lateral adicional, mejorando el comportamiento del sistema sin alterar la volumetría del mismo.

En cuanto a la utilización de materiales y técnicas constructivas, las medidas remediales en ambos casos, comprenden propuestas muy comúnmente utilizadas en proyectos de restauración y conservación, según se puede observar de las propuestas contenidas en (Ruiz *et al.*, 2012; Peña y Lourenço, 2012; Gómez *et al.*, 2016). SE puede resaltar, como colofón técnico que tras varias décadas de haberse realizado las intervenciones, no se han observado daños por incompatibilidad de uso de materiales modernos (concreto armado, básicamente) en ninguna de las dos intervenciones, tales como el desprendimiento de encamisados de concreto, corrosión de los aceros de refuerzo, así como tampoco grietas en las esquinas de las tapias o en los paños intermedios de esquinas debidas a movimientos sísmicos durante este período de exposición.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La sostenibilidad es uno de los valores intrínsecos de la restauración y conservación del patrimonio construido de una ciudad o territorio rural, no sólo por asegurar el pleno reconocimiento del hecho arquitectónico a través del tiempo, sino además por contar dentro de sus lineamientos con la obligada preservación del patrimonio en sus condiciones técnicas, materiales y culturales reconocidas por la sociedad que lo contiene.

La rehabilitación sísmica del patrimonio arquitectónico se puede entender, tanto como un proceso esencial dentro de la restauración y conservación del patrimonio construido, como una estrategia de sostenibilidad, pues su aplicación garantiza en cierta medida, la pervivencia del bien cultural en un período de exposición determinado (vida útil de la edificación restaurada), cumpliendo con el objetivo fundamental de asegurar su permanencia futura, esta relación es explícita en los diferentes documentos del ICOMOS, específicamente en la *“Declaración de Lima para la gestión de riesgo del patrimonio cultural”*. Así mismo, esta estrategia de sostenibilidad cuenta con una metodología delineada en la Carta del ICOMOS *“Principios para el análisis, conservación y restauración estructural del patrimonio arquitectónico”*, cuya observación y seguimiento es fundamental para acometer la rehabilitación sísmica de edificaciones patrimoniales.

El sistema constructivo de tapia tiene una serie de deficiencias sísmicas que pueden ser superadas por vía de ciertas medidas remediales, que a pesar de ser comunes en la práctica de la rehabilitación sísmica en la restauración del patrimonio arquitectónico, no son sencillas de aplicar por razones de casuística propia de cada edificio siendo además siempre necesario el cumplimiento de los principios y criterios para el análisis y restauración de dicho patrimonio; es así como el sopesar y estudiar bien cada una de las propuestas de intervención, en grupos multidisciplinarios de profesionales, contando además con la necesaria información cualitativa y cuantitativa del hecho arquitectónico a intervenir buscando la mínima afectación física y conceptual del mismo, son condiciones fundamentales para lograr la protección sostenible del patrimonio.

En los casos estudiados se verifica como el carácter interdisciplinario en la toma de decisiones es una de las claves fundamentales para lograr el objetivo de la protección sostenible del patrimonio arquitectónico, siempre que las mismas contengan la mayor cantidad de

información posible sobre las técnicas, tecnología, historia y conceptualización de los sistemas estructurales a intervenir. En la intervención de la Capilla Las Mercedes en el Vallecito, Mérida, se desarrolló una medida remedial con respecto a la estabilidad de las tapias, que colide con los principios contenidos en la Carta del ICOMOS, pues a la luz de los mismos, la inserción de columnas en las intersecciones de las tapias de la edificación configura una intervención muy pesada que desvirtúa el concepto de muro portante afectando volumétricamente su apariencia y cambiando conceptualmente su comportamiento. Por otro lado, la intervención de la casa Paredes en la ciudad de Mérida, resuelve una serie de medidas remediales que no coliden con los principios mencionados. Es importante recordar que ambas intervenciones se produjeron con anterioridad a la aparición de la Carta del ICOMOS, de manera que no existía en el momento una metodología para el análisis, restauración y conservación de las estructuras de patrimonio arquitectónico.

6. AGRADECIMIENTO

Agradecemos la atención del profesor Gustavo Díaz Spinetti a la serie de entrevistas y conversaciones efectuadas, con el fin de precisar información sobre la intervención de la casa Paredes de la ciudad de Mérida, Venezuela.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTEZ, R. 2006. *El desastre de 1812 en Venezuela: sismos, vulnerabilidades y una patria no tan boba*. Fundación Empresas Polar, Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela. 154 p.

CASTILLO, W. 1983. El reforzamiento estructural de edificaciones de tapia, un caso en los andes venezolanos. Seminario Latinoamericano de construcciones sismo-resistentes de tierra. Lima, Perú.

CILENTO S., A. 2015. *Construcción sostenible, piezas para la investigación y la acción*. Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción – IDEC, Facultad de Arquitectura y

Urbanismo, Universidad Central de Venezuela, Primera edición. Caracas, Venezuela. 132 p.

COVENIN. 2001. Norma venezolana COVENIN 1756:2001-1 edificaciones sismorresistentes, parte 1: requisitos, (1ª Revisión). Editorial FONDONORMA. Caracas, Venezuela.

COVENIN. 2001 a. Norma venezolana COVENIN 1756:2001-1 edificaciones sismorresistentes, parte 2: comentarios; Editorial FONDONORMA. Caracas, Venezuela.

DÍAZ PISANI, T. 2006. *El Museo de Arte Colonial de la ciudad de Mérida y la casa del General Juan Antonio Paredes Ángulo: umbral al patrimonio artístico y arquitectónico iberoamericano del período colonial*. Trabajo de tesis para optar al título de Magister Scientiae en Historia, Teoría y Crítica de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 188 p.

GÓMEZ, V., C. LÓPEZ y D. RUIZ. 2016. Rehabilitación sísmica de edificaciones históricas en tapia pisada: estudio de caso de capillas doctrineras reforzadas con malla de acero y madera de confinamiento. *Informes de la Construcción* 68(541): 140 – 167.

ICOMOS. 2001. Criterios de Conservación del Patrimonio Arquitectónico del Siglo XX, Documento de Madrid 2011. En línea: <http://www.icomosc.org/doc/teoria/ICOMOS.2011.madrid.criterios.conservacion.patrimonio.sigloXX.pdf> [Consultado en: 12/05/2017].

ICOMOS. 2003. Principios para el análisis, conservación y restauración de las estructuras del patrimonio arquitectónico. Ratificada por la 14ª Asamblea General del ICOMOS, en Victoria Falls, Zimbabwe. Octubre de 2003. En línea: http://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/structures_e.pdf [Consultado en: 14/05/2017].

ICOMOS. 2010. Declaración de Lima para la gestión de riesgo del patrimonio cultural, en el marco del Simposio sobre Gestión de Desastres del Patrimonio Cultural. Conservación sostenible del patrimonio cultural urbano en zonas sísmicas. Lima, Perú. En línea: https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/lima_declaration_2010.PDF [Consultado en: 12/05/2017].

- LOURENÇO, P. B. 2013. Conservation of cultural heritage buildings: Methodology and application to case studies. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*. Mayo-Agosto, pp: 102-114.
- OCÉANO. 1996. *Gran diccionario enciclopédico visual*. Edición 1996. Grupo Editorial Océano, Barcelona, España. 356 p.
- PEÑA MONDRAGÓN, F., y P. LOURENÇO. 2012. Criterios para el refuerzo antisísmico de estructuras históricas. *Revista de Ingeniería Sísmica* (87): 47-66.
- PEÑA MONDRAGÓN, F. 2010. Estrategias para el modelado y el análisis sísmico de estructuras históricas. *Revista de Ingeniería Sísmica* (83): 43-63.
- PEÑA, F., D. RIVERA y C. ARCE LEÓN. 2010. La conservación del patrimonio arquitectónico mediante una visión multidisciplinaria: el papel de la ingeniería. XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. León, España. pp: 11-06.
- RUIZ, D., C. LÓPEZ y J.C. RIVERA. 2012. Propuesta de normativa para la rehabilitación sísmica de edificaciones patrimoniales. *Apuntes* 25 (2): 226 - 239.
- SOLÍS, M., D. TORREALVA, P. SANTILLÁN y G. MONTROYA. 2015. Análisis del comportamiento a flexión de muros de adobe reforzados con geomallas. *Informes de la Construcción* 67(539): 92 121.
- TORRES, C. 2014. La rehabilitación arquitectónica planificada. *ARQ (Santiago)* (88), 30-35.
- UNESCO. 2000. Carta de Cracovia, principios para la conservación y restauración del patrimonio construido, En línea:
http://www.unesco.org/culture/natlaws/media/pdf/guatemala/guatemala_carta_cracovia_2000_spa_orof.pdf [Consultado en: 10/06/2017].