

Un acercamiento al convento de Santa Clara de Asís de La Habana. Estudio de su estado de conservación y propuestas de intervención

J. L. Guevara^{1*} , Y. A. Toirac¹ , C. M. C. Marisy¹ 

*Autor de Contacto: jlopezg@civil.cujae.edu.cu

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i2.354>

Recepción: 26/10/2017 | Aceptación: 29/05/2018 | Publicación: 30/04/2019

RESUMEN

La armadura del Coro alto del Convento de Santa Clara de Asís ha sido víctima de la humedad, y del ataque de agentes bióticos y abióticos que han provocado su paulatina degradación. Para la identificación de los procesos patológicos asociados a estos agentes y por su carácter patrimonial se realizó un estudio de diagnóstico basado en una inspección organoléptica y en ensayos superficiales con el instrumental disponible, que permitieron identificar las causas. Mediante la modelación de la estructura en el programa SAP 2000 se obtuvieron las solicitaciones a las que se encuentran sometidos los elementos a intervenir y con el resultado se calcularon las soluciones propuestas para las patologías identificadas, fundamentalmente para la pérdida del vínculo entre la solera y el tirante.

Palabras clave: procesos patológicos; carácter patrimonial; inspección organoléptica; ensayos superficiales; modelación.

Citar como: Guevara, J. L., Toirac, Y. A., Marisy, C. M. C. (2019), “Un acercamiento al convento de Santa Clara de Asís de La Habana. Estudio de su estado de conservación y propuestas de intervención”, Revista ALCONPAT, 9 (2), pp. 228 – 246, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i2.354>

¹ Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría, La Habana, Cuba

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el primer número del año 2020 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del tercer número del año 2019.

An approach to the convent of Santa Clara de Asís in Havana. Study of its conservation status and intervention proposals

ABSTRACT

Santa Clara de Asis Convent High Choir timber truss has been victim of humidity and attack of abiotic and biotic agents which have caused its gradual degradation. For the identification of pathological processes associated with these agents and because of its patrimonial character, a diagnosis study based on an organoleptic inspection and superficial tests was carried out with the available instruments, which allowed identifying the causes. By modeling the structure with SAP 2000 program, we obtained the results that were used to calculate the solutions proposed for the identified pathologies, mainly for the loss of connection between the wall plate and the tie rod beam.

Keywords: pathological processes; patrimonial character; organoleptic inspection; superficial tests; modeling.

Inspeção ao convento de Santa Clara de Asís em Havana. Estudo do seu estado de conservação e propostas de intervenção

RESUMO

As treliças do Coro alto do Convento de Santa Clara de Assis têm sido vítimas da umidade, do ataque de agentes bióticos e abióticos que causaram sua degradação gradual. Para a identificação dos processos patológicos associados a esses agentes e pelo seu caráter patrimonial, foi realizado um estudo diagnóstico baseado em inspeção organoléptica e ensaios superficiais com os instrumentos disponíveis, que permitiram identificar o problema e fazer um diagnóstico. Modelando a estrutura no programa SAP 2000, foram encontradas as solicitações as quais os elementos estruturais estão submetidos. Com isso foi proposta a solução dos problemas patológicos, principalmente a intervenção para corrigir a perda do vínculo entre a viga e o tirante. **Palavras-chave:** processos patológicos; caráter patrimonial; inspeção organoléptica; ensaios superficiais; modelar.

1. INTRODUCCIÓN

En La Habana ha comenzado un proyecto de rescate del convento Santa Clara de Asís de La Habana Vieja, para poder vincular el pasado, el presente y el futuro de esta longeva edificación, mediante un proceso de conservación, preservación y rehabilitación, del patrimonio heredado por la humanidad, de modo que éste se integre a la vida contemporánea.

El convento ubicado en el Centro Histórico de la capital cubana, con su Coro alto como se observa en la “Figura 1”, fue a decir de Pedro Herrera “la primera estructura no militar de escala monumental que se construyó en La Habana, por lo que el escenario urbano de la vieja villa experimentó una definitiva transformación” (López, 2006).



Figura 1. Iglesia del convento de Santa Clara, al fondo el Coro alto.

Las armaduras de pares del primer claustro del convento de Santa Clara son consideradas las más antiguas conservadas en La Habana Vieja y en cuanto a este tipo de techos, el mejor exponente por sus disímiles soluciones. Estas estructuras por su composición han estado expuestas al ataque de agentes externos, ya sean bióticos o abióticos que actúan de manera agresiva provocando su degradación.

Con la siguiente investigación se realiza un estudio del estado actual de deterioro que presenta la armadura del Coro alto del convento y se dan las propuestas de técnicas de intervención, ya sean tradicionales o actuales, dirigidas a recuperar y mejorar la capacidad estructural de las armaduras de maderas del convento de Santa Clara de Asís, siendo una obra del siglo XVII y considerado Patrimonio Cultural de la Humanidad con grado de protección 1, otorgado por las regulaciones urbanas de La Habana Vieja. Este sistema constructivo representa una herencia valiosa; conservarlo posibilita el rescate de la identidad cultural de la nación.

2. EL CONVENTO DE SANTA CLARA DE ASÍS, EXPONENTE DE LAS ARMADURAS DE MADERA MÁS ANTIGUAS CONSERVADAS EN LA HABANA VIEJA

En su artículo *Las armaduras de pares en La Habana Vieja. El privilegio de su conservación*, la Dra. Felicia Chateloin afirma que “puede considerarse que el convento de Santa Clara es el ejemplo más importante de construcción habanera en que se hayan empleado las armaduras de pares. Su estudio es importante, no solo por la antigüedad, la calidad y la variedad de sus techos, sino también por el número, no igualado por ninguna otra edificación” (Santiesteban, 2007).

En el primer claustro son notables, “los techos artesonados que cubren la mayoría de los recintos en su planta alta, y se destacan por la elegancia de proporciones, así como la talla de sus principales elementos, los de la nave de la iglesia y su coro” (Espiniella, 2001; Arduengo and Cruz, 2012).

En Cuba, la mayor parte de los techos de madera inclinados de la etapa colonial, son descendientes de las armaduras de origen mudéjar. Por mucho tiempo autores como Joaquín Weiss (Weiss, 1978) se refirieron a este tipo de armaduras como alfarjes, pero Felicia Chateloin llama la atención sobre el error al emplear este término en las armaduras de pares, “hoy reconocemos que este término debe restringirse a los techos planos decorados, deben ser denominados correctamente ‘armadura de pares’ por su sistema estructural. Fueron las armaduras de pares, y no los alfarjes, los que caracterizaron los techos de La Habana colonial de los siglos XVII y XVIII” (Santiesteban, 2007).

2.1 Caracterización constructiva y estructural de la armadura del Coro alto de la iglesia

El techo del coro alto está formado por pares o alfardas, ver “Figura 2”, en serie de dúos, que parten del estribo, marco perimetral de la estructura, y llegan a la viga hilera o cumbrera conformando cuatro faldones. Según el criterio de especialistas (Santiesteban, 2007), en locales con luces mayores de 10 m los pares tendrán una sección aproximada de 14 x 17 cm. Las alfardas se encuentran unidas horizontalmente, a dos tercios de la altura, por los nudillos quedando determinado el harneruelo, con lo que el perímetro interior del techo es un trapecio. Por ésta última característica se puede clasificar como una armadura de par y nudillo y como conjunto estructural trabaja a compresión. “En estos techos la hilera no está a la vista y puede o no apoyarse en limas. El nudillo tiene una sección de dimensiones iguales o muy semejantes a las del par de su armadura” (Santiesteban, 2007).



Figura 2. Elementos estructurales de la armadura del Coro alto del convento.

Los pares se apoyan en los muros por medio del estribo, marco estructural del sistema, en templos religiosos su sección puede ser de 35 x 30 cm o más, es el encargado de recibir los empujes horizontales que transmiten los pares (Santiesteban, 2007). Para rigidizar la estructura, el estribo se traba con vigas transversales o ‘tirantes’ que trabajan a tracción y conforman un triángulo conjuntamente con los pares, estas vigas de sección 15 x 20 cm aproximadamente se encuentran unidas por cortas piezas denominadas ligaduras constituyendo lo que se denomina tirantes pareados, ver “Figura 3”, en el espacio entre ellas y a la mitad de la luz presenta un polígono estrellado con función decorativa. El objetivo de los tirantes pareados generalmente es realizar el empate de las soleras que están constituidas por tramos.



Figura 3. Tirantes pareados sobre canes.

En los ángulos del local, en la “Figura 4”, se observan los ‘cuadrales’, los que se ensamblan al estribo, tienen función rigidizadora y al igual que los tirantes trabajan a tracción (Santiesteban, 2007). Los cuadrales se disponen a 45° apoyados sobre canes en esviaje (Matauco, 2000). Los canes en que se apoyan los cuadrales se encuentran tallados paralelamente a los muros contiguos, lo que hace los frentes más visibles.



Figura 4. Cuadral, canes en esviaje y can de esquina.

3. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO PARA EL DIAGNÓSTICO

La metodología llevada a cabo para el estudio de las patologías en la armadura se realizó a partir del estudio de metodologías propuestas por diferentes autores (Álvarez et al., 2005); (Basterra et al., 2005); (Garófalo, 2000); (Otaño, 2002); (Rodríguez, 2006). “Un análisis integral del problema, abarcará siempre el examen del ambiente próximo a la edificación, las lesiones y sus manifestaciones deformativas y su incidencia casuística. La conservación o protección necesaria va desde el edificio a la ciudad y de ésta a aquél, como todo proceso que funciona como un sistema” (Otaño, 2002).

La metodología de diagnóstico que definen estos autores consta de tres etapas fundamentales, primera: caracterización del objeto de estudio, segunda: inspección organoléptica y tercera: exámenes superficiales. En la primera etapa se realiza un primer acercamiento a la obra, búsqueda y revisión bibliográfica para recopilar información sobre los antecedentes del conjunto edilicio, características del sistema y sus componentes. La segunda etapa consiste en el reconocimiento del inmueble y su entorno, basado en una inspección organoléptica rigurosa y detallada que permita establecer el estado general de conservación de la estructura; la inspección se apoyará de croquis en el que se trazaron ejes de coordenadas con el objetivo de delimitar mejor las áreas del local y facilitar la posterior descripción y representación de las patologías identificadas. Estará acompañado además de una documentación fotográfica de modo que evidencie la patología a la que se hace referencia. En la tercera etapa se definen las técnicas e instrumentos para la realización de ensayos no destructivos que permitan realizar un análisis más detallado de los procesos patológicos que se están dando lugar en la estructura. En esta etapa se evalúan los parámetros ambientales que puedan influir sobre las patologías observadas, se realizan ensayos in situ como la medida de humedad ambiental, superficial de los elementos y temperatura, en el laboratorio se realiza la identificación anatómica de las especies y de organismos xilófagos. Este diagnóstico final se realiza con el objetivo de confirmar o rechazar las hipótesis elaboradas en la segunda etapa.

Para la realización del diagnóstico se muestran en los croquis de la “Figura 5” la numeración de los elementos que conforman la estructura del Coro alto. La enumeración de los pares se realizó de forma independiente en cada faldón; mientras que los componentes de la tablazón, se definieron en función de la junta que le correspondía en cada caso y se contó a partir del arranque de la armadura sobre los muros en dirección a la cumbre. Los canes, cuadrales, limas y vigas del tirante (elementos que se pueden observar en la “Figuras 6”) se enumeraron de forma consecutiva comenzando por los elementos ubicados en la intersección de los ejes B'-1, y en el sentido de rotación de las manecillas del reloj, ver “Figura 5”.

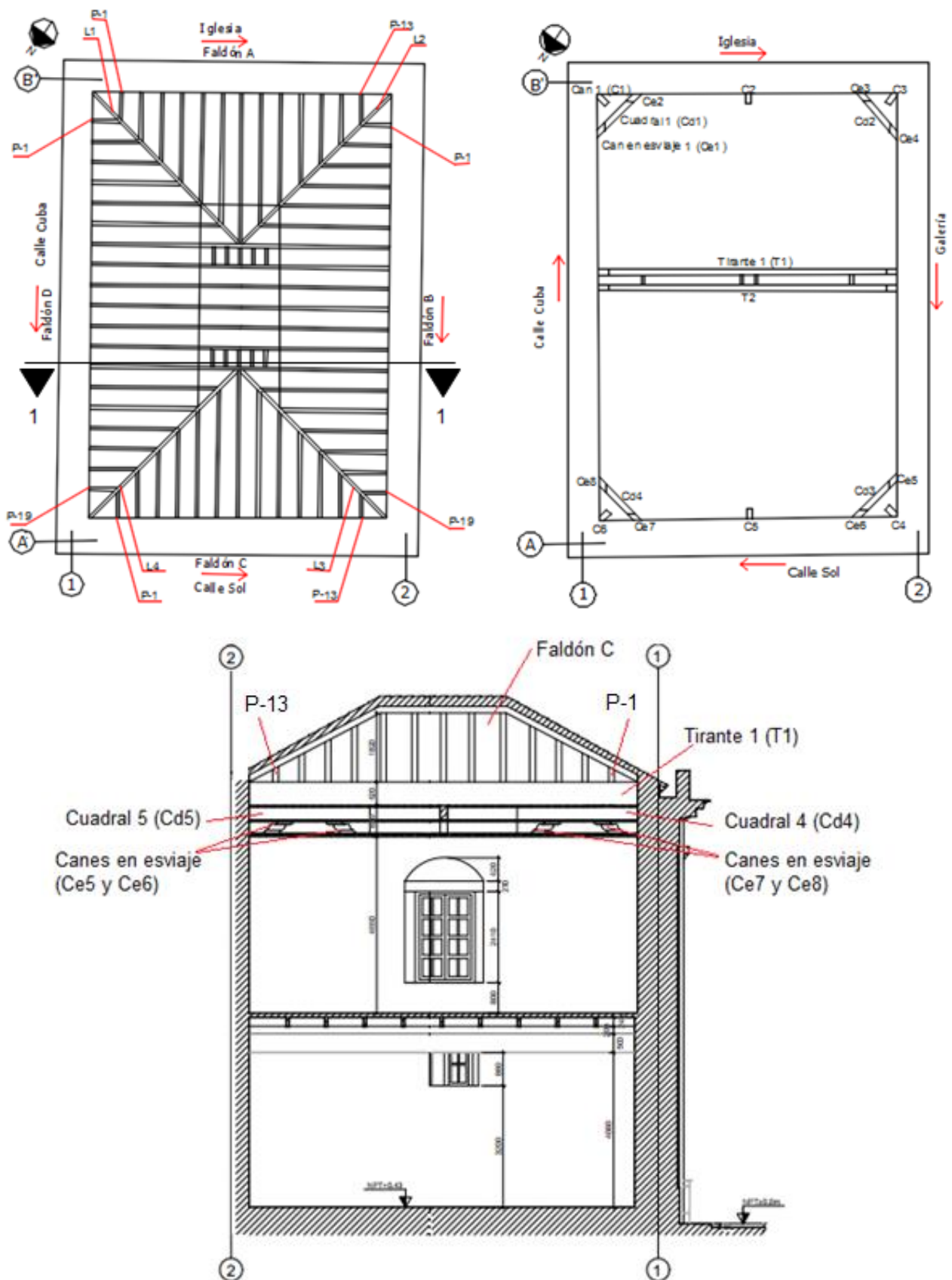


Figura 5. Nomenclatura y numeración de los elementos del Coro alto en planta arquitectónica y en corte transversal 1-1.

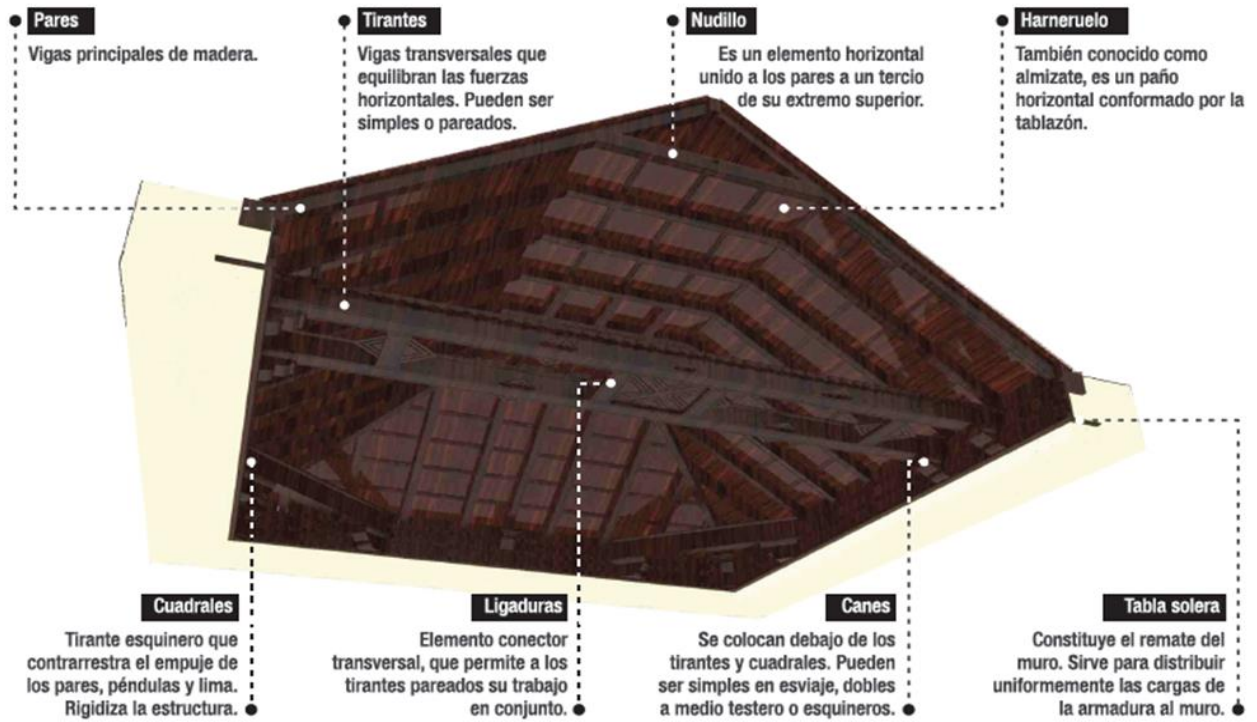


Figura 6. Elementos componentes de la armadura de par y nudillo del Coro alto. (Autores: Arq. Dayana Espinosa Ruiz; Arq. Lillian Potts Rodríguez y Arq. Linnet Valdés Rivero)

3.1 Inspección visual del Coro alto

El primer acercamiento a la estructura mostró el evidente abandono a que está sometida y el nivel de deterioro por la ausencia de mantenimiento. Se aprecia suciedad en los muros como consecuencia de la acumulación de polvo, hollín y materia orgánica producto de la cercanía a la Avenida del Puerto y el paso de vehículos automotores por las calles aledañas.

Se percibe en el local una humedad ambiental elevada. Por otro lado, se comprobó que la edificación ha estado expuesta por períodos prolongados a exceso de agua, debido a filtraciones provenientes de la cubierta, que se evidencia por las pátinas verdes y manchas de escorrentía en los muros ver “Figuras 7-10”. Estas filtraciones pueden causar daños severos en la madera, acelerando el proceso de putrefacción y en los muros de tapiales, debido a que por su propia constitución tienden a retener mucha humedad.



Figura 7 y Figura 8. Pátinas en muro de galería a eje 2 del Coro.



Figura 9. Muro en eje A con escorrentía.



Figura 10. Pátinas verdes bajo arrocabe en el eje 2.

Debido a la proliferación de plantas hospederas en la cubierta, se vislumbran sistemas desarrollados de raíces que penetran hasta los muros de tapiales, ver “Figura 11”, y pueden influir en la fisuración de estos.



Figura 11. Raíces en eje A de plantas hospederas en la cubierta.

Los grupos de murciélagos que se encuentran en el techo del local, ver “Figura 12”, han colaborado con sus excrementos y restos de alimentos a la suciedad de los muros y el local en general, ver “Figura 13”. Aunque la actuación de estos quirópteros en algunas situaciones es beneficiosa para el hombre, como el mantenimiento y regeneración de bosques al tener un importante papel en la dispersión de semillas, pueden llegar a convertirse en una plaga cuando se instalan en lugares que no constituyen su hábitat natural.

La deposición de los murciélagos contiene ácidos que producen en los muros problemas de naturaleza estética, por la acumulación de excrementos negros. Además, pueden afectar la salud humana al crear un ambiente propicio para el desarrollo de toda una sucesión ecológica de microorganismos, comenzando con el crecimiento de bacterias, hongos y finalmente la proliferación de insectos xilófagos.



Figura 12. Presencia de murciélagos.



Figura 13. Suciedad en los muros producto de los excrementos de murciélagos y en el local producto de restos de sus alimentos.

Se observan fisuras y grietas verticales, que oscilan entre 1-2 cm de espesor y una profundidad de 3-4 cm, sobre todo en las uniones entre muros, ver “Figura 14”. Estas grietas pueden ser consecuencia de un desplome, provocado por el empuje de la armadura, ya que se muestran también grietas horizontales en la parte baja del muro, ver “Figura 15”.



Figura 14. Grieta de 2 cm de ancho en intersección de ejes A-1.



Figura 15. Grietas horizontales en la parte baja de muro (eje 1).

Por ser un material de origen orgánico, la madera está expuesta al ataque de diferentes agentes, tanto bióticos como abióticos que influyen en su degradación y la pérdida de su resistencia en la mayoría de los casos. Los agentes abióticos, son del tipo físico y/o químico y están causados por fenómenos climáticos o meteorológicos como la radiación solar, la humedad ambiental, la lluvia, el viento, entre otras (Colectivo de autores, 1998).

Según la Corporación Chilena de la Madera (CORMA) para el desarrollo y subsistencia de los agentes biológicos se requiere de ciertas condiciones, como la existencia de fuente de material alimenticio para nutrirse, un intervalo de temperatura ideal para su desarrollo entre 3° a 50°C, siendo óptimo alrededor de los 37°C. Para que la madera sea susceptible al ataque de hongos la humedad debe oscilar entre el 20% y el 140%, pues por debajo del 20%, el hongo no puede desarrollarse y por encima del 140% de humedad, no existe el suficiente oxígeno para que pueda vivir. Con las condiciones anteriormente descritas, la madera está expuesta al ataque biológico, pudiendo producirse alteraciones de importancia en la resistencia mecánica de la madera o en su aspecto exterior.

La unión entre el tirante y la solera es el punto más crítico, pues su mal funcionamiento trae desajustes al techo y la entrada de agua (Garófalo, 2000; Rodríguez, 2003). En ocasiones, se producen empujes en el muro provocados por el tirante desprendido, dando lugar a grietas horizontales que surgen a determinada altura, más visibles en la cara interior, acompañado de un

desplazamiento hacia afuera de las hiladas más altas. En las imágenes, ver “Figuras 16-19”, se muestra el descenso de los canes en que apoyan los tirantes y cuadrales, la causa de este deterioro puede estar asociada a la presencia de humedad que condicionó la pudrición de los elementos de apoyo ubicados en el interior del muro por lo que los elementos dejaron de trabajar como originalmente lo hacían y comenzaron a ceder. En el caso de los canes en que apoyan los tirantes, puede estar asociado, además, a la fuerza que le están ejerciendo los tirantes.



Figura 16. Descenso de canaleta bajo el tirante 2 (T2), en eje 2.



Figura 17. Descenso de canaleta bajo tirante 1 y 2 (T1 y T2), en eje 1.



Figura 18 y Figura 19. Descenso de canaleta en esviaje (Ce7 y Ce8) bajo cuadrante 4 (Cd4).

3.2 Examen superficial de la armadura del coro alto

Se contó con el apoyo del Grupo de Diagnóstico de la Oficina del Historiador para la realización de ensayos de nivel I y II (Rodríguez, 2006) que complementaron el estudio organoléptico realizado y permitió un mayor acercamiento al estado real de conservación de la estructura. Como parte de este estudio se realizaron los siguientes ensayos: medición de las dimensiones de los elementos que conforman el techo (nivel I), medición de humedad superficial, temperatura y humedad ambiental (nivel I), sondeo con punzón de los elementos de madera (nivel I), identificación de plantas superiores (nivel I) e identificación anatómica de la madera (nivel II) (laboratorio).

Dimensionamiento de los elementos.

Para determinar las escuadrías de los pares que conforman la armadura y el espaciamiento entre ellos, ya que no se tienen los planos originales, se empleó una lienza como elemento de medición. Las mediciones se realizaron en la cara lateral y en la inferior de los elementos. La medida del espaciamiento se realizó de cara a cara interna de los pares. El esquema de las medidas tomadas a estos elementos se muestra en la “Figura 20”.

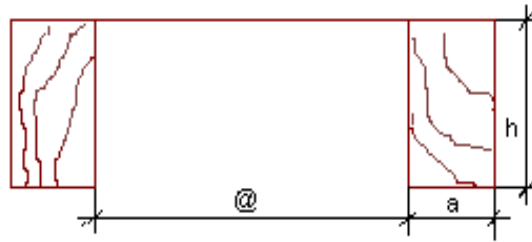


Figura 20. Forma de medición de los pares.

En la Tabla 1 se muestra la cantidad de elementos que contiene la armadura, así como los rangos en que oscilan las dimensiones de las secciones transversales según el tipo de pieza y su espaciamiento.

Tabla 1. Dimensionamiento de los elementos de la armadura del Coro alto.

Elemento	Cantidad	Secciones		Espaciamiento (@)	
		Ancho (a)	Peralto (h)		
Limas	4	17 cm	20-22 cm	-	
Pares	64	17 cm	20-22 cm	45-58 cm	
Cuadrales	4	23-24 cm	30-31 cm	-	
Canes	10	-	-	-	
Canes en esviaje	8	-	-	-	
Tirantes simples	2	T1	24.5 cm	31.5 cm	80 cm
		T2	22.5 cm	31.5 cm	

Humedad relativa y temperatura ambiental.

Los valores de humedad relativa se midieron con el termo-higrómetro, ver “Figura 21”, se hicieron lecturas en diferentes puntos del local controlados durante tres meses (marzo-mayo de 2018) de forma que se pudiera obtener las posibles variaciones en las lecturas realizadas que evidencie diferencias atmosféricas dentro del mismo local. Los valores medidos en todos los casos son superiores al 65% y las condiciones termohigrométricas son convenientes, es decir, existen en el local temperaturas comprendidas entre 20°C y 30°C, las que favorecen el desarrollo de agentes de biodegradación y contribuye a acelerar los ciclos vitales de numerosos microorganismos e insectos xilófagos degradadores de la madera.

Humedad superficial.

El ensayo de humedad superficial permite conocer el contenido de humedad retenido en las fibras del material, ya que su valor influye en las propiedades físicas del mismo. Para la ejecución del ensayo se empleó como instrumento el Higrómetro *Protimeter Surveymaster SM*, ver “Figuras 22 y 23”.



Figura 21. Termo-higrómetro.



Figura 22. Higrómetro *Protimeter Surveymaster SM*.



Figura 23. Medición de humedad superficial en elementos.

El instrumento posee dos modos de medición: por el color de la barra LED y por la lectura del porcentaje (%) de humedad contenido en la madera. Según el color en la barra, será verde cuando está en un estado seguro de secado al aire, amarilla representa la frontera y roja cuando la madera se encuentra en una condición desfavorable. La clasificación de los niveles de saturación establecida por el fabricante se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Niveles de saturación establecidos por el fabricante.

Color	Nivel de saturación de humedad superficial	Rango de valores (%)
Verde (V)	Semi seco	6-8-10
Amarillo (A)	Humedad admisible	12-14
Rojo (R)	Húmedo	16-18-20
	Saturado	= 20

Las mediciones se realizaron en los pares, en las zonas próximas al apoyo y en los elementos que se observaban más expuestos a la humedad, registrándose cinco lecturas en cada medición. Para ejecutarlo se presiona el equipo a una profundidad nominal de 5-15 mm en el elemento estudiado y provee lecturas relativas de humedad contenida dentro del material.

Se detectaron valores superiores al 18% en zonas específicas que confirman la presencia de humedad por filtraciones en la cubierta que es una de las causas fundamentales de las lesiones observadas. Estas humedades en el rango del 18 al 20% y superiores crean un ambiente favorable para la proliferación de hongos de la pudrición y otros organismos xilófagos que pueden afectar las propiedades mecánicas de la madera.

En el caso de los elementos donde se han encontrado lesiones y no superan este rango, puede inferirse que han existido etapas donde el aumento de humedad ha sido considerable, permitiendo de esta manera la aparición de agentes degradantes de la madera.

Sondeo con el punzón de los elementos de madera.

El objetivo de este ensayo es determinar el estado de conservación de los pares en la zona cercana a los apoyos, según la medida obtenida por la penetración de un punzón graduado, ver “Figura 24”. Este valor depende de las características y la dureza específica del elemento de madera que se esté analizando. Cuando el punzón no penetra o lo hace superficialmente, significa que el elemento estudiado se encuentra en buen estado. Sin embargo, se obtienen valores de penetración superiores (entre 2-5cm) si los elementos están podridos o desfibrados. El resultado de este ensayo revela que las lesiones identificadas más comunes son: desfibramiento en la zona del cabezal de los pares y cuadrales, en la parte inferior y laterales del 70% de los pares que conforman los faldones del techo, además de otras lesiones como grietas, pudrición, astillamiento y manchas de humedad.



Figura 24. Sondeo de elementos de madera con punzón graduado.

La “Figura 25” resume las lesiones detectadas en el Coro alto, ubicándolas en una planta arquitectónica.

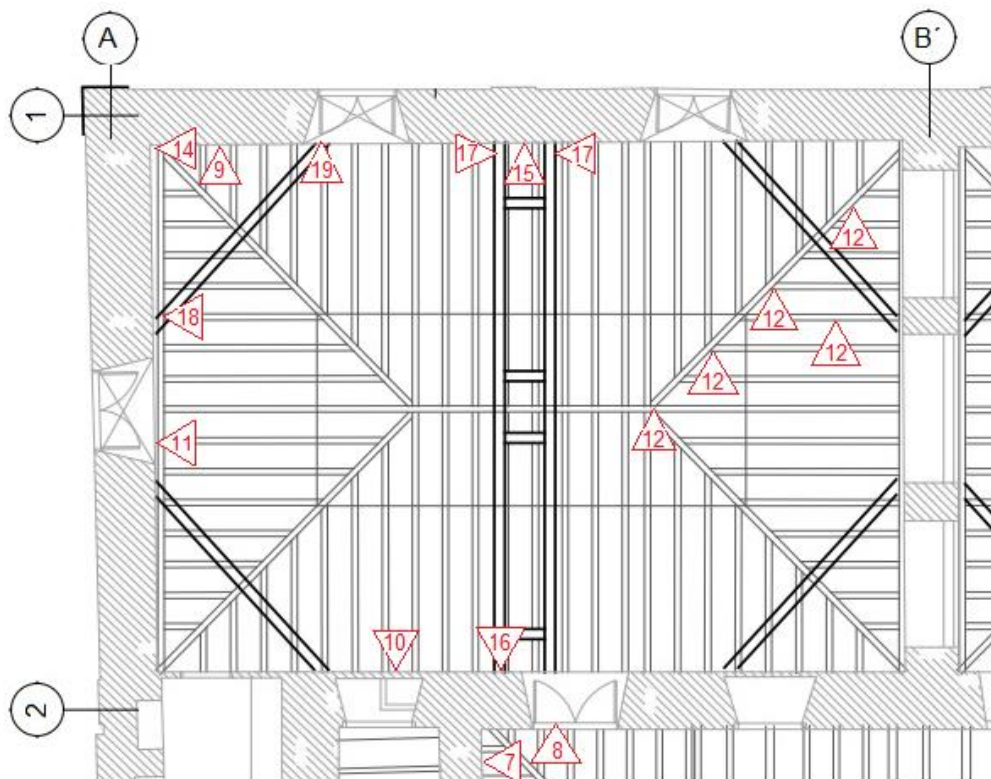


Figura 25. Planta arquitectónica del Coro alto dónde se ubican las lesiones asociadas a las Figuras 7-12 y 14-19.

Identificación de plantas superiores.

Se tomaron fotografías de las plantas hospederas que se encuentran creciendo en la cubierta, ver “Figuras 26 y 27”. La identificación de las plantas superiores se realizó a través de la comparación con ejemplares presentes en el herbario del laboratorio de Biología del Grupo de Diagnóstico de la Oficina del Historiador de La Habana, fueron obtenidos la familia botánica, el nombre vernáculo y científico (Colectivo de autores, 1999); (Roig, 2014) y el porte biológico (Pérez and Rodríguez, 2007); (Pérez, 2010).



Figura 26 y Figura 27. Plantas invasoras en la cubierta del Coro alto.

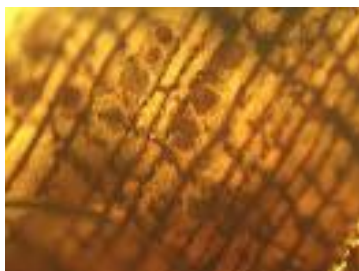
Las plantas identificadas son de porte herbáceo y de porte arbóreo, las últimas tienen raíces que pueden penetrar en los muros y producir grietas que siguen desarrollándose, ensanchando y creando nuevas tensiones internas en los muros (Pérez, 2010).

Las plantas de porte herbáceo, si bien su acción mecánica es de menor incidencia que las de porte arbóreo, también juegan un papel en el desarrollo de las lesiones, pues contribuyen al deterioro químico del sustrato en que crecen y a la retención de humedad, por lo que facilitan el crecimiento de otras plantas con mayor potencial. Por tanto, se hace necesario conocer a qué especie o grupo pertenece el agente biológico, a partir de lo cual se trazan las estrategias para la conservación del sustrato deteriorado.

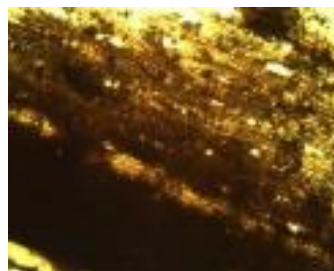
Identificación de especies maderables.

Para la realización de este ensayo se tomaron muestras aleatorias de los elementos de madera para su identificación, de forma que posibilite obtener cortes histológicos en las direcciones transversal, tangencial y radial. La observación de los caracteres anatómicos se realizó con el empleo del microscopio óptico de luz.

Las muestras se identificaron por el método de la anatomía comparada, que se basa en la comparación de los caracteres macroscópicos de las muestras con maderas patrones, previamente identificadas y clasificadas en la xiloteca del laboratorio de Biología de la Oficina del Historiador. Los caracteres evaluados son: color, textura, grano, lustre y olor (en las que lo posean) y presencia de anillos de crecimiento (Carreras and Dechamps, 1995). Las muestras se tomaron del cuadrado 4, del arrocabe, del can en esviaje 4 y del friso del faldón D; obteniendo que, el cuadrado en esviaje 4, el arrocabe y el friso del faldón D pertenecen a la especie *Cedrela odorata*, ver “Figura 28” y el cuadrado 4 pertenece a la especie *Tectona grandis*, ver “Figura 29”.



Corte transversal 40x

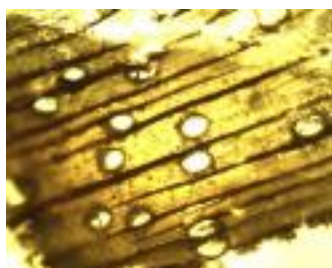


Corte longitudinal tangencial 100x



Corte longitudinal radial 100x

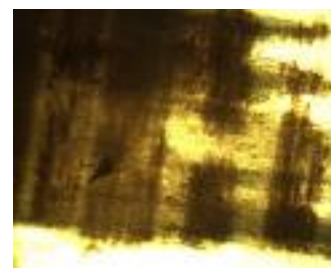
Figura 28. Cortes anatómicos del Cedro.



Corte transversal 40x



Corte longitudinal tangencial 40x



Corte longitudinal radial 40x

Figura 29. Cortes anatómicos de la Teca.

Los cortes histológicos de las muestras tomadas, en el sentido transversal, longitudinal-tangencial y longitudinal-radial, que se observan en las Figuras 28 y 29, permiten corroborar a partir de la microscopía, según el patrón de parénquima del corte transversal, el cual se aprecia mejor que el de parénquima radial, que las especies maderables son cedro y teca, respectivamente.

Una vez identificadas las especies, en la Tabla 3 se muestran sus propiedades físico-mecánicas, a partir de la información brindada por el Instituto de Investigaciones Agroforestales de Cuba, las que serán empleadas en la modelación estructural de la armadura en el programa SAP 2000 y en el cálculo de los reforzamientos.

Tabla 3. Principales características mecánicas y físicas de las maderas identificadas.

Nombre científico	Nombre vulgar	Densidad (g/cm ³)	Módulo de elasticidad (kg/cm ² x1000)	Tracción (kg/cm ²)	Flexión (kg/cm ²)	Compresión (kg/cm ²)		Cortante (kg/cm ²)
						Normal a las fibras	Paralela a las fibras	
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	0,37-0,75	78.10	690	667	-	302	40
<i>Tectona grandis</i>	Teca	0,61-0,74	110	850	1160-1450	-	513-685	63.2

4. VERIFICACIÓN DE LAS CARGAS ACTUANTES EN LOS TIRANTES

Se modeló la estructura en el programa SAP 2000, ver “Figura 30”, teniendo en cuenta para el análisis de las cargas el peso propio de los materiales (NC 283: 2003), la carga de uso de cubierta (NC 284: 2003) y la carga de viento (NC 285: 2006) según las combinaciones de carga de la NC 450: 2006.

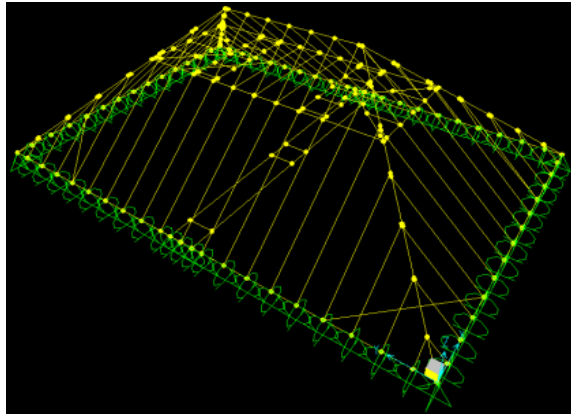


Figura 30. Modelación de la estructura en el programa SAP 2000.

Resultados de la modelación para los esfuerzos axiales en el tirante 1: $NT1=60,15$ kN y en el tirante 2: $NT2=52,49$ kN, obtenidos de la combinación más desfavorable.

5. PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN

5.1 Solución para tirantes con prótesis

Consiste en sustituir la parte retirada por madera, introduciendo barras (de acero o PRF, por sus siglas en inglés: Polymers Reinforced Fiber) en taladros realizados en la madera y realizar el encolado de las barras para que se adhieran bien. Para el diseño se consideró la máxima solicitación axial, para ambos tirantes, de la combinación más desfavorable obtenida de la modelación realizada en el programa SAP 2000. Los diámetros de los taladros deben ser lo suficientemente amplios para dejar una holgura de 3 a 6 mm alrededor de la barra, que se rellenará con epoxi.

Proceso de ejecución: corte con sierra de cadena o serrucho de la parte degradada de la cabeza. Taladrado de agujeros en el tirante original e instalación de las barras. Selección y conformación de la nueva madera a insertar, cajeado para realizar la unión con la solera. Se taladran los agujeros en la nueva inserción y se aplica la resina epoxi en las barras. Finalmente se coloca la nueva madera a insertar que debe cumplir con los requisitos de durabilidad para madera de uso estructural como la restricción de nudos, fendas, control de la humedad de equilibrio higroscópico, entre otros.

Esta solución se puede ejecutar con productos de la compañía italiana de "Materiales auxiliares para la construcción y la industria" (Mapei, por sus siglas en italiano). Consiste en aplicar primero a la madera y los orificios para las barras, el producto Mapewood Primer 100, que es un impregnador epoxídico de consistencia fluida, se deja secar para aplicar luego a las barras y la madera el producto Mapewood Paste 140, que es un adhesivo epoxídico de consistencia tixotrópica muy eficaz en la restauración de elementos estructurales de madera.

5.2 Reforzamiento mediante fibras de carbono

Es una técnica actual de reforzamiento de elementos estructurales, que ha sido empleada no sólo para recuperar estructuras de madera, sino también de hormigón y mampostería. Consiste en fijar al elemento a reforzar, mediante resinas epóxicas, platinas de material sintético con fibra de carbono, que tienen un espesor aproximado de 1,2 mm a 1,4 mm y ancho de 60 mm. Su actuación va dirigida generalmente a absorber los esfuerzos de tracción, en este caso de 60,15 kN obtenido como solicitación axial más desfavorable en la modelación realizada, que se generan dado su elevada resistencia ante esta acción. Las fibras poseen alta resistencia estructural comparada con su peso prácticamente despreciable y son resistentes a la corrosión (Morochó, 2014). La desventaja que representa la aplicación de este método es su elevado costo.

5.3 Sustitución de la solera por otra de madera

La solera se sustituirá por un durmiente con las mismas escuadrías de la original retirada (30x35cm), las uniones en las esquinas se realizarán a media madera y en la longitud de la pieza se realizará cada 5 m mediante un empalme de llave o diente de perro. La madera a emplear será la Manilkara valenzuelana (ácana) que es una madera más dura que el cedro.

Diseño de la unión en la longitud.

La unión en la longitud del elemento se basará en un empalme de llave que consiste en transmitir los esfuerzos de tracción (N_d) de una pieza a la otra a través de una compresión paralela a la fibra aplicada sobre el frente con una superficie $b \cdot t$ "Figura 31". Pasando también el esfuerzo a la sección completa a través de un esfuerzo rasante de tensiones tangenciales en el plano de superficie $b \cdot l$ "Figura 31" (Martitegui et al., 2009).

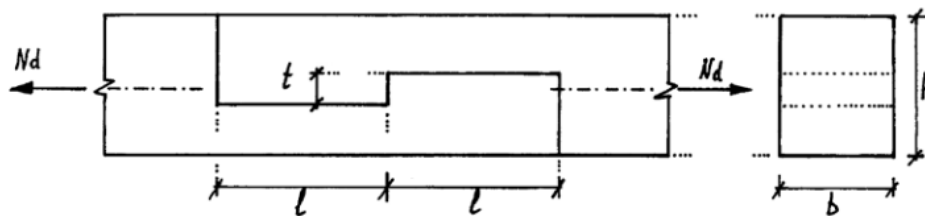


Figura 31. Empalme de llave. Fuente: (Martitegui et al., 2009)

Diseño de la unión en la esquina.

La unión en las esquinas se realizará a media madera "Figura 32", reforzado con tornillos tirafondos como se pueden observar en la "Figura 33", que constan de un fuste conformado por una zona roscada en la punta (cuerda) y un tramo liso (caña).

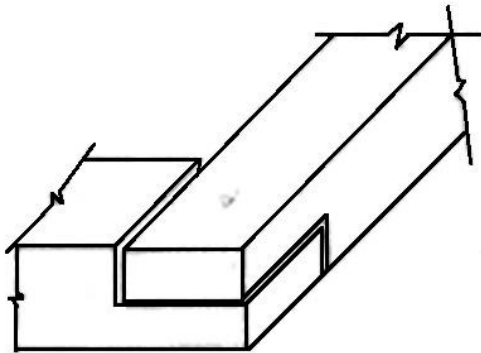


Figura 32. Unión a media madera. Fuente: (Martitegui et al., 2009).

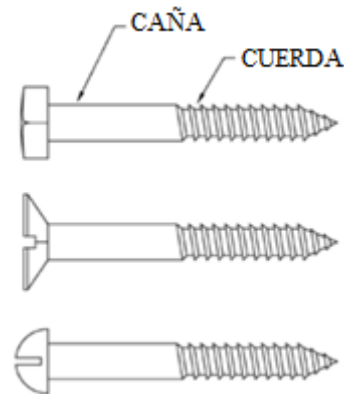


Figura 33. Tirafondos con cabeza hexagonal, avellanada y redonda (de arriba abajo). Fuente: (Martitegui et al., 2009).

5.4 Sustitución de tirantes por tensores de acero

Consiste en la colocación de tensores de acero que tomarán las tensiones del tirante original, atravesarán la solera fijándose mediante dos tuercas y una placa metálica para evitar aplastamientos en la madera. Empleando los esfuerzos axiales obtenidos a partir de la modelación de los elementos en el programa SAP 2000.

El diseño se realizó considerando que cuando se emplean barras como miembros a tensión pueden mantenerse en posición mediante roscas con tuercas (McCormac, 2002). El esfuerzo nominal a tensión para varillas roscadas cuando la rosca está incluida en el plano de corte, según la tabla J3.2 del Manual de Carga y Factores de Resistencia de Diseño (LRFD por sus siglas en inglés) es igual a $0.75F_u$. La probabilidad de fallo de estos elementos se tiene en cuenta por fractura debido a la reducción de área provocada por las roscas.

Se emplearon en el diseño barras de acero A-36 con tensión de fluencia $F_y=250\text{MPa}$ y tensión última $F_u=400\text{MPa}$. Se analizaron para el tensor más cargado, aunque se colocarán dos tensores en las mismas posiciones de los tirantes.

Es conveniente limitar a $5/8$ plg el diámetro mínimo de los tensores (McCormac, 2002), ya que los de menor diámetro se dañan con frecuencia durante el proceso constructivo. Refiere además que, algunos proyectistas emplean diámetros no menores a $1/500$ de la longitud de los tensores, a fin de lograr cierta rigidez aun cuando los cálculos de esfuerzos permitan diámetros menores.

6. CONCLUSIONES

De las patologías identificadas, las causas más probables están asociadas al exceso de humedad por filtraciones provenientes de la cubierta que han propiciado la proliferación de organismos xilófagos. La lesión que más está afectando el comportamiento del conjunto estructural es la desarticulación o pérdida del vínculo solera tirante, originado por la pudrición de estos elementos en la zona de la fogonadura, provocando el empuje del muro de fachada y su consiguiente desplome evidenciándose en las grietas verticales en la intersección de los ejes y grietas horizontales en el muro del eje 1 del Coro alto. De manera general la estructura se encuentra en un estado regular.

La solución propuesta para resolver la principal lesión fue la sustitución de la solera por otra de madera y los tirantes por tensores de acero, que se revestirán nuevamente en madera para afectar en lo menor posible la estética y la belleza del inmueble que constituye un valor patrimonial.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los especialistas de la Oficina del Historiador de La Habana: de la empresa de proyectos RESTAURA, del Departamento de diagnóstico y de la Dirección de inversiones que confiaron en nuestro servicio para la realización de este trabajo y por toda la colaboración y disponibilidad brindadas. Agradecemos la colaboración de las arquitectas Dayana, Lillian y Linnet.

8. REFERENCIAS

Álvarez, L., Basterra, A., Casado-Sanz, M., y Acuña-Rello, L. (2005), “Aplicación del resistógrafo al diagnóstico de elementos singulares en estructura de madera” en I jornadas de investigación en construcción (2-4 de junio de 2005. Madrid, España). Madrid, España: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja – CSIC. 165-181.

Arduengo García, D. A., Cruz Pérez, A. (2012), *Una nueva lectura del antiguo convento de Santa Clara de Asís desde la arqueología y la historiografía*. Arquitectura y Urbanismo, 33(1), 77-90. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-58982012000100006&lng=es&tlng=es.

Basterra, L. A., Casado, M., Acuña, L., Ramón-Cueto, G., López, G., Barranco, I., Relea, E. (2005). *Avance de propuestas metodológicas para el diagnóstico y análisis de estructuras de maderas históricas*. In Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción: Cádiz (pp. 27-29).

- Carreras, R., Dechamps, R. (1995). *Anatomía de la madera de 157 especies forestales que crecen en Cuba y sus usos tecnológicos, históricos y culturales*. v. 1: El texto, v. 2: Las láminas.
- DCTA-UPM (1998), "*Tratado de rehabilitación: Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales*". Tomo 3, Ed. Munilla-Leria.
- Espiniella, D. T. (2001). *Del barroco colonial cubano. Su expresión en la arquitectura religiosa de La Habana*. In Actas III Congreso Internacional del barroco americano: Territorio, Arte, Espacio y Sociedad: Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, 8 al 12 de octubre de 2001 (p. 71).
- Instituto de Ecología y Sistemas de Cuba (1999), *Cuba y sus árboles*. Editorial Academia La Habana. ISBN: 959-02-0252-7
- López, P. A. H. (2006). *El Convento de Santa Clara de La Habana Vieja* (R. y. M. C. Centro Nacional de Conservación Ed.). La Habana Vieja. Cuba: Consejo Nacional de Patrimonio Cultural.
- Martitegui, F. A., González, G. Í., Herrero, M. E., Álvarez, R. A., Cabo, J. L. F. (2009). *Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera*. Documento de aplicación del Código Técnico de la Edificación (CTE) Documento Técnico 03: MADERIA. Sociedad Española de la Madera.
- Matauco, E. N. (2000). *La carpintería de armar española*. (Munilla-Lería Ed.). Ministerio de Cultura, Instituto de Conservación y Restauración de bienes culturales. España.
- McCormac, J. C. (2002). *Diseño de estructuras de acero*. Método LRFD (S. A. d. C.V. Alfaomega Grupo Editor Ed. 2ª edición ed.).
- Morocho, D. E. E. (2014). *Reforzamiento estructural para forjados de madera en edificaciones patrimoniales y contemporáneas*. (Bachelor's thesis), Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador.
- Norma Cubana (2003), *NC 283: 2003 Densidad de materiales naturales, artificiales y de elementos de construcción como carga de diseño*.
- Norma Cubana (2003), *NC 284: 2003 Edificaciones. Cargas de uso*.
- Norma Cubana (2006), *NC 285: 2006 Carga de viento. Método de cálculo*.
- Norma Cubana (2006), *NC 450: 2006 Edificaciones. Factores de carga o ponderación. Combinaciones*.
- Otaño, I. M. G. (2002). *Métodos Organolépticos de Evaluación y Dictámen. Paper presented at the Conferencia. II: Evaluación Organoléptica y Diagnóstico en Edificaciones*. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría. Facultad de Arquitectura.
- Pérez, A. C., & Rodríguez, R. (2007). *Plantas epilíticas del Castillo de La Fuerza en el Centro Histórico de La Habana Vieja, mecanismos de dispersión y distribución*. Revista del Jardín Botánico Nacional. Universidad de La Habana, 61-64.
- Pérez, A. C. (2010). *Plantas epilíticas deteriorantes de la Fortaleza San Carlos de la Cabaña*. Revista del Jardín Botánico Nacional. Universidad de La Habana, 219-222.
- Rodríguez, O. A. (2003). *Patología, diagnóstico y rehabilitación de edificaciones*. Monografía. Instituto de Ensayos y Materiales. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz. Bolivia.
- Rodríguez, O. Á. (2006). *Metodología para realizar el estudio de diagnóstico para la rehabilitación estructural de forjados planos de madera en edificaciones ubicadas en el Centro Histórico de La Habana*, (Doctorado), CUJAE.
- Roig, J. T. (2014). *Diccionario botánico de nombres vulgares cubanos* (E. Científico Técnica Ed. Cuarta edición ed.). La Habana.
- Santiesteban, F. C. (2007). *Las armaduras de pares en La Habana Vieja. El privilegio de su conservación*. Gabinete de Arqueología, 6, 49-60.
- Tejera Garófalo, P. (2000). *Patología de las Edificaciones en conservación y rehabilitación de edificaciones*. Folleto Maestría.
- Weiss, J. E. (1978). *Techos coloniales cubanos* (E. A. y. Literatura Ed.). La Habana: Editorial Arte y Literatura.