

# ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIGAS, COLUMNAS Y CABRIADAS DE MADERA DE LA ESTANCIA JESUÍTICA DE SANTA CATALINA, SIGLO XVII

José Luis Gómez\*

Ingeniero Civil, Prof. Consulto, ccp-cons@ciudad.com.ar

María del Carmen Fernández Saiz\*

Arquitecta, Prof. Titular, Fac. de Arquitectura, mfernandezsaiz@yahoo.com.ar

Liliana Papalardo\*

Ingeniera Civil, Prof. Asistente, ingpapalardo@yahoo.com.ar

\*Docentes e Investigadores, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, UNC.

## RESUMEN

Se presenta en este trabajo el estudio de diferentes tipologías estructurales de madera utilizadas por los jesuitas en las construcciones de la Estancia de Santa Catalina, provincia de Córdoba, obra de arquitectura declarada Patrimonio de la Humanidad. Se realizó la identificación macroscópica y microscópica de la madera utilizada en vigas y columnas, en la Universidad Nacional de Santiago del Estero, y ensayos para conocer las características físicas y mecánicas en nuestro Laboratorio. Posteriormente se realizó la verificación de resistencia y deformabilidad según la norma brasilera BR7190 para conocer el grado de seguridad de la estructura. Se estudiaron las estructuras reticuladas conformadas por pares, nudillo y tensor, relevando las manifestaciones patológicas en los elementos estructurales y realizando un diagnóstico que permitió estimar el grado de seguridad de los mismos y proponer actuaciones para su recuperación y mantenimiento.

En las conclusiones del trabajo, se destacan fundamentalmente la durabilidad de la madera de más de 360 años de antigüedad, y se recomiendan actuaciones para la recuperación de las piezas deterioradas, y el mantenimiento de este Patrimonio Cultural de la Humanidad.

## ABSTRACT

*The study of different structural types of wood used by the Jesuits in the constructions of the stay of Santa Catalina, province of Córdoba, the work of architecture declared World Heritage site is presented in this work. He was the macroscopic and microscopic identification of wood used on beams and columns, at the National University of Santiago del Estero, and essays to learn about the physical and mechanical characteristics in our laboratory. He is followed by verification of resistance and deformability according to the Brazilian standard BR7190 to know the degree of safety of the structure. Reticulate structures formed by pairs, knuckle and tensor were studied, relieving the pathological manifestations in the structural elements and performing a diagnostic that allowed to estimate the degree of safety and propose actions for their recovery and maintenance.*

*In the conclusions of the work, essentially highlights the durability of the wood of more than 360 years of antiquity, and recommended actions for the recovery of damaged parts, and maintenance of this Cultural heritage of humanity*

## INTRODUCCIÓN

En el marco de las investigaciones realizadas en los últimos años en el Taller de Investigación de Diseño Estructural de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional de Córdoba, se presenta este trabajo con el estudio de las tipologías estructurales de madera utilizadas por los jesuitas en la construcción de la Estancia Santa Catalina, en la provincia de Córdoba, declarada Patrimonio de la Humanidad en el año 2000.



Figura 1. Vista de la estancia

La Estancia comprende la iglesia monumental, la residencia con sus tres patios y locales anexos, las ruinas del noviciado, la ranchería (habitaciones para esclavos), el tajamar, restos de acequias y molinos, Figura 1. Conservada casi en su totalidad, es ésta la más amplia de todas las Estancias, estructurada alrededor de tres patios. La iglesia, de imponente fachada, posee dos torres y portal en curva. Su gran cúpula y el atrio sobre elevado, denotan una cierta influencia de la arquitectura barroca centroeuropea, tanto en el empleo de las pilastras y frontones curvos que enmarcan el portal de acceso como en las torres gemelas que flanquean la fachada. Junto a la iglesia se halla el antiguo cementerio de los religiosos, al cual se accede por un portal barroco cóncavo, resaltado por el coronamiento curvo y enmarcado por pilastras y columnas, Figura 2.

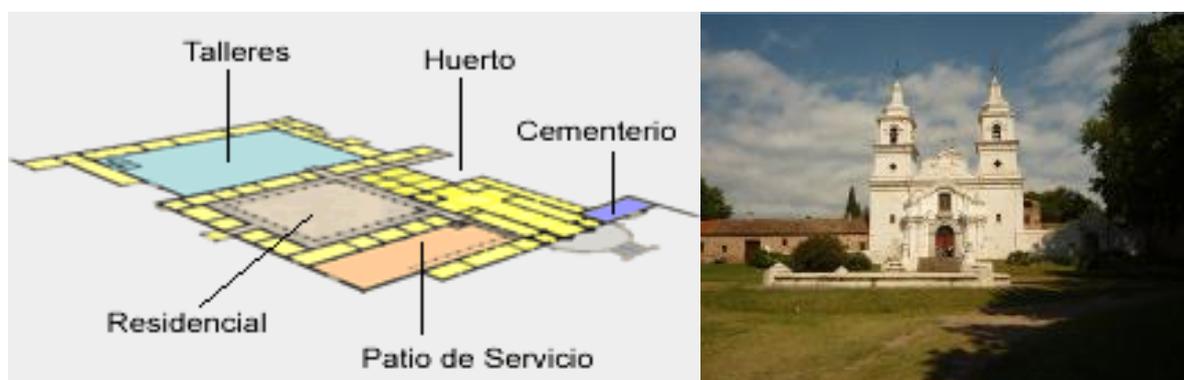


Figura 2. Planta y fachada de la estancia

Esta Estancia se halla en un paraje rural a unos 20 kilómetros al noroeste de la ciudad de Jesús María, a 70 km de la ciudad de Córdoba por ruta nacional 9 hasta Jesús María y luego por camino provincial secundario.

En las áreas destinadas al servicio y las habitaciones, la construcción, característica de la época, consiste en gruesos muros de mampostería sobre los que apoyan estructuras de madera que soportan el paquete constructivo compuesto por bovedillas, capa de compresión y tejas. En estas edificaciones se han utilizado las siguientes tipologías estructurales construidas en madera: columnas, vigas inclinadas, vigas reticuladas.

Para el estudio de estos elementos estructurales, se ha realizado primero la tipificación de la madera utilizada, y luego los ensayos para conocer sus características físico-mecánicas. Una vez investigada la conformación estructural de la obra, se resolvieron las estructuras con modernos procedimientos de análisis y se procedió a la verificación seccional siguiendo los lineamientos de la Norma brasilera BR 7190, determinando su grado de seguridad.

Del estudio del comportamiento estructural de las mismas, estructuras de madera de más de 360 años de antigüedad, se redactan recomendaciones de actuación orientadas a su conservación y mantenimiento ya que constituyen una obra de valor patrimonial como parte del legado cultural de los jesuitas.

## **INVESTIGACIÓN DE LA CONFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE CUBIERTA DE LA GALERÍA DEL PATIO DE LOS ESCLAVOS**

La investigación tuvo por objeto reconocer el sistema estructural utilizado en la conformación del entrepiso de la galería del patio de los esclavos (también denominado patio de servicio), como se indica en la Figuras 3 y 4.



Figura 3. Ubicación de la galería Patio de los esclavos



Figura 4. Vistas galería Patio de los esclavos

- Se realizó el análisis de cargas de cubierta, cuya conformación está graficada en la Figura 5.

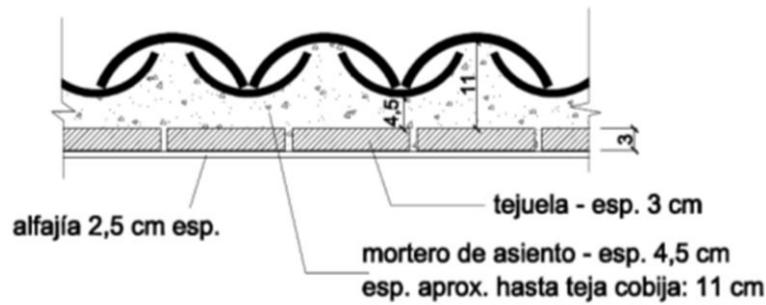


Figura 5. Detalle de cubierta

Teja Muslera:	_____	100.00 kg/m <sup>2</sup>
Mortero de Cemento 4,5:	_____	63.00 kg/m <sup>2</sup>
Tejuela de 3cm espesor:	_____	42.00 kg/m <sup>2</sup>
Alfajías:	$\frac{0.085 \times 0.025 \times 590}{0.30}$	35.10 kg/m <sup>2</sup>
Carga permanente:	_____ g =	209.80 kg/m <sup>2</sup>
Carga variable:	_____ p =	23.00 kg/m <sup>2</sup> (pendiente de 16°)

Carga sobre cabios, según esquema estructural de Figura 6.

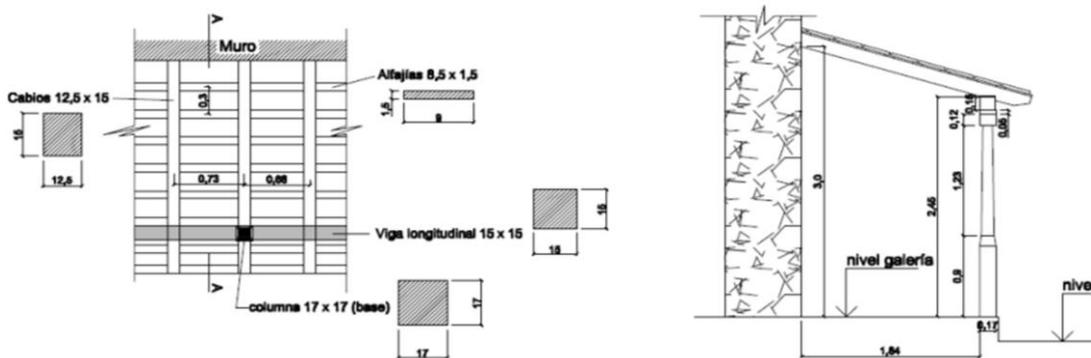


Figura 6. Planta esquemática del sector. Corte A-A

Carga permanente:  $209.80 \text{ kg/m}^2 \times 0.70 = 146.42 \text{ kg/m}$

Peso propio:  $12.5 \times 15 = 19.03 \text{ kg/m}$

Carga permanente en proyección:  $\frac{165.45}{\cos 16^\circ} = 172.1 \text{ kg/m}$

Carga variable:  $23 \times 0.70 = 16.00 \text{ kg/m}$

Combinación de cargas mayoradas:

$$q_c = 1.3 \times 172.10 + 1.4 \times 16 = 246.13 \text{ kg/m}$$

- Determinación de las características físicas y mecánicas de la madera de cabios: *Aspidosperma quebracho-blanco (Apocinaceae)*.

Para identificar la especie de madera de los cabios, se realizó el estudio macro y microscópico de las muestras enviadas al Laboratorio de Dendrología y Xilología, INSIMA, Fac. Ciencias Forestales, U. N. de Santiago del Estero, como se muestra en la Figura 7.

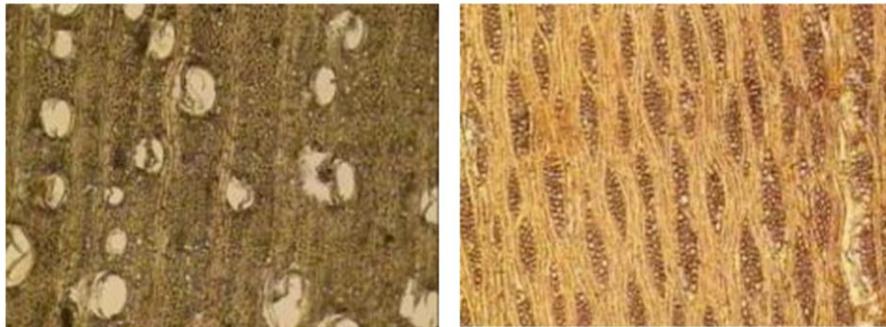


Figura 7. Muestra. Secciones transversal y tangencial

Los resultados del Laboratorio certificaron que las piezas correspondían a la especie: quebracho blanco, se realizaron ensayos para la determinación de las características físicas y mecánicas en el laboratorio del Taller de Investigación y Diseño Estructural, FAUDI, UNC.

Densidad =  $1015 \text{ kg/m}^3$

Resistencia Característica  $f_{c0k} = 454 \text{ kg/cm}^2$

Resistencia de Cálculo  $f_{c0d} = 145.28 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de Elasticidad =  $118322 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de Elasticidad Efectivo =  $0.6 \times 0.8 \times 0.8 \times 118322$

$E_{ef} = 45436 \text{ kg/cm}^2$

- Verificación seccional de los cabios:

$$l_c = 2.02\text{m} \quad q_c = 246.13 \text{ kg/m} \quad W = \frac{12.5 \times 15^2}{6} = 468.75 \text{ cm}^3$$

$$M_{\text{máx.}} = \frac{246.13 \times 2.02^2}{8} = 125.54 \text{ kg m}$$

Tensión de trabajo

$$\sigma = \frac{12554}{468.75} = 26.78 \text{ kg/cm}^2 < f_{c0d} = 145.28 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{VERIFICA}$$

- Cálculo de deformación máxima:

$$q_c = 1 \times 172.10 + 0.2 \times 16 = 246.13 \text{ kg/m}$$

$$\alpha = \frac{5}{384} \times \frac{2.461 \times 202^4}{45436 \times 3515.63} = 0.33 \text{ cm} < \frac{202}{250} = 0.80 \text{ cm}$$

- Determinación de las características físicas y mecánicas de la madera de columnas: Algarrobo Prosopis alba (*Mimosaceae*).

Para identificar la especie de madera de las columnas se procedió de igual modo que para la madera de cabios, ver Figura 8.

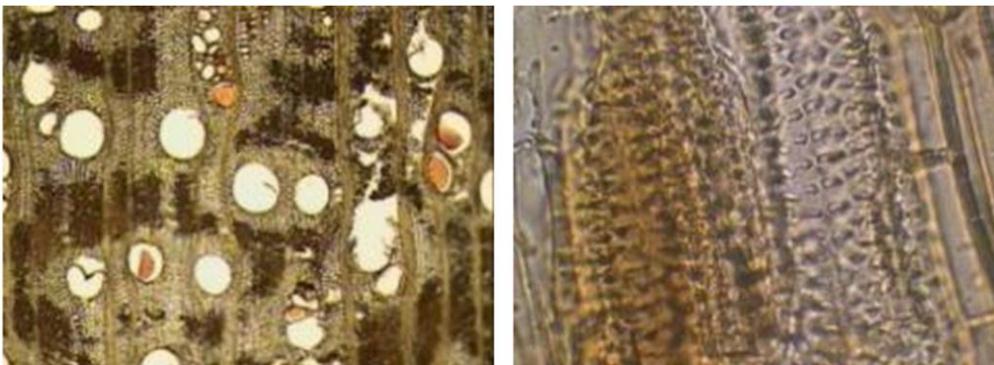


Figura 8. Muestra. Secciones transversal y tangencial

Con el dato del Laboratorio de que se trataba de la madera algarrobo, se realizaron ensayos para la determinación de las características físicas y mecánicas en el laboratorio del Taller de Investigación y Diseño Estructural, FAUDI, UNC.

$$\text{Densidad} = 690 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Resistencia Característica} \quad f_{c0k} = 379 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Resistencia de Cálculo} \quad f_{c0d} = 103.95 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Módulo de Elasticidad} = 63667 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Módulo de Elasticidad Efectivo} = 0.6 \times 0.8 \times 0.8 \times 63667$$

$$E_{ef} = 24448 \text{ kg/cm}^2$$

- Verificación seccional de columna graficada en Figura 9.

$$\text{Datos de la geometría:} \quad b = d = 0.13 \text{ m} \quad l_p = 2.50 \text{ m}$$

$$I = \frac{13 \times 13^3}{12} = 2380 \text{ cm}^4 \quad W = \frac{13 \times 13^2}{6} = 366 \text{ cm}^3 \quad i = \sqrt{\frac{2380}{169}} = 3.75 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{250}{3.75} = 66 \quad e_a = \frac{250}{300} = 0.84 \text{ cm}$$

Esfuerzo normal:  $N = 1374 \text{ Kg}$

$$F_E = \frac{\pi^2 \times E_{c0\text{ef}} \times I}{L^2} \quad F_E = \frac{3.1416^2 \times 24448 \times 2380}{250^2} = 9188 \text{ kg}$$

$$e_d = e_a \left( \frac{F_E}{F_E - N_u} \right) = 0.84 \times \left( \frac{9188}{7874} \right) = 0.99 \text{ cm}$$

$$M_d = N_d \times e_d = 1310 \times 0.99 = 1297 \text{ kg cm}$$

$$\sigma_M = \frac{1297}{366} = 3.54 \text{ kg/cm}^2 \quad \sigma_N = \frac{1374}{13 \times 13} = 8.13 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{c0d}} \leq 1 \quad \frac{8.13}{103.9} + \frac{3.54}{103.9} = 0.11 \ll 1 \quad \text{VERIFICA}$$

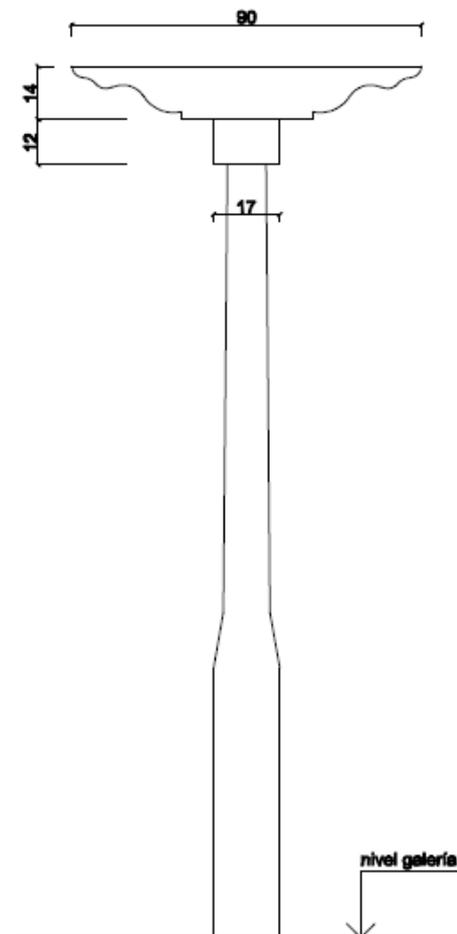


Figura 9. Detalle de columna

## INVESTIGACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS CABRIADAS DE MADERA EN CUBIERTA DE LAS HABITACIONES DEL PATIO DE LAS HIGUERAS

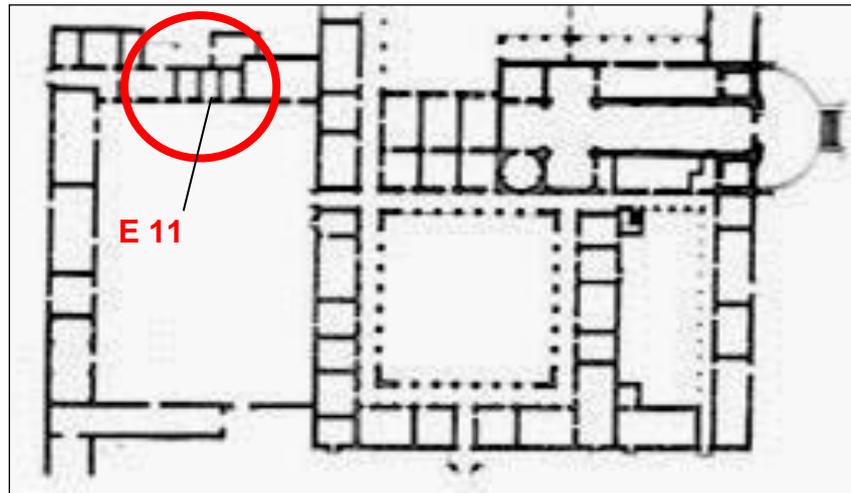


Figura 10. Habitaciones del Patio de las Higueras

La estructura que se verificó corresponde al plano superior de la habitación E 11 ubicada en Patio de las Higueras (en el área de los talleres), como se indica en la Figura 10, y en la cual se observaron manifestaciones patológicas.

Como primera medida se procedió a relevar in situ la sala en cuestión, tanto en sus dimensiones en planta, como así también la organización estructural del plano superior. Para el relevamiento en alzado se utilizaron además los datos suministrados por el equipo de topógrafos.

Esta estructura, característica de la época, está constituida por una cabriada central de madera azuelada con pares y nudillos, que se apoya sobre muros de un ancho aproximado de 0,90 mts. Se completa el mecanismo con cabios transversales colocados cada 20 cm aproximadamente, apoyados sobre la cabriada de madera y en los muros extremos. Éstos reciben el paquete constructivo compuesto por bovedillas, capa de compresión y tejas, como se grafica en la Figura 11.

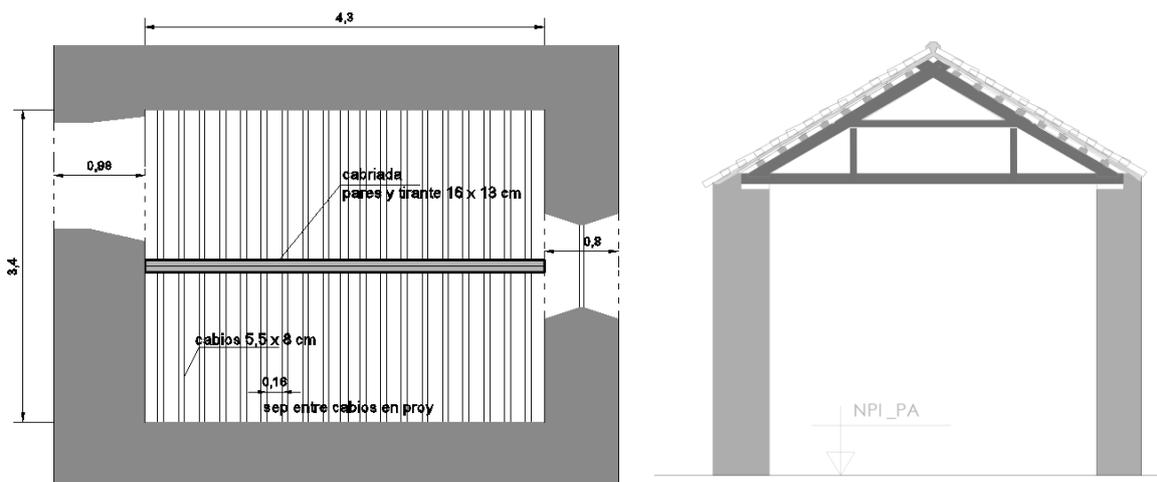


Figura 11. Organización Estructural de cubierta. Corte Transversal

Las uniones de las diferentes barras se materializan por encastre, sin la presencia de clavos u otro conector, como se aprecia en la Figura 12.

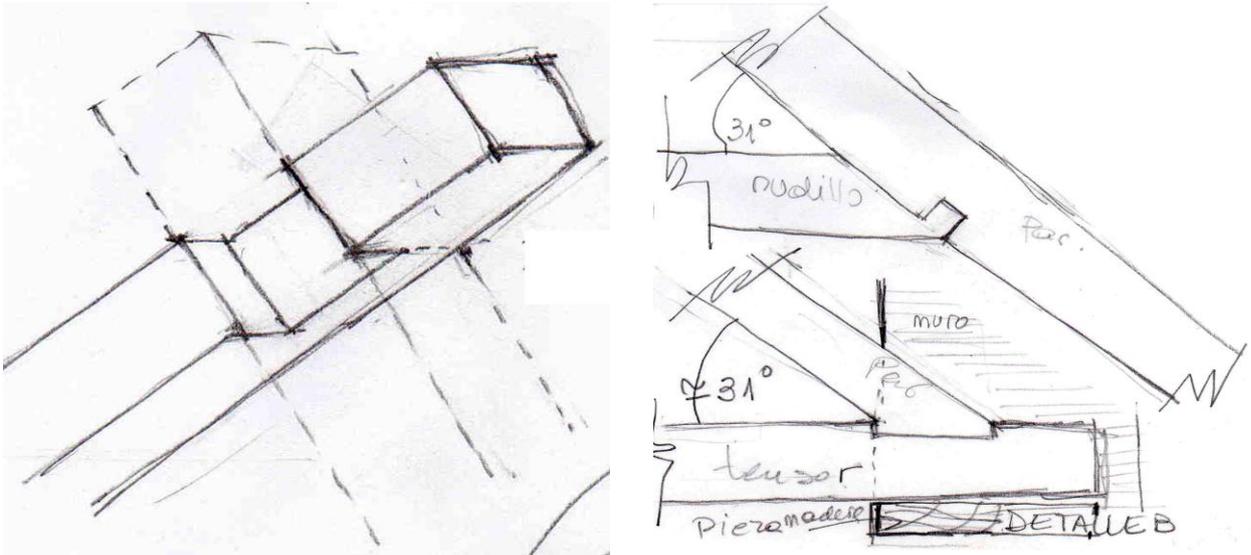


Figura 12. Cabriada. Detalle de unión entre pares y entre par y nudillo

Durante las tareas de relevamiento desarrolladas, se observaron importantes manifestaciones patológicas, indicadas en la Figuras 13 y 14.



Figura 13. Cabriada. Manifestaciones Patológicas relevadas en pares y tirante



Figura 14. Cabriada: Manifestaciones Patológicas relevadas en apoyos

- Determinación de las características físicas y mecánicas de la cabriada: *Prosopis* sp (Algarrobo).

Del mismo modo que en los casos anteriores, se realizó el estudio macro y microscópico de una muestra para la identificación de la madera (peritaje Técnico, elaborado por el Laboratorio de Dendrología y Xilología, INSIMA, Fac. De Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero) obteniéndose los siguientes resultados:

Especie: *Prosopis* sp. (ALGARROBO) con presencia de galería de insectos, ver la Figura 15.

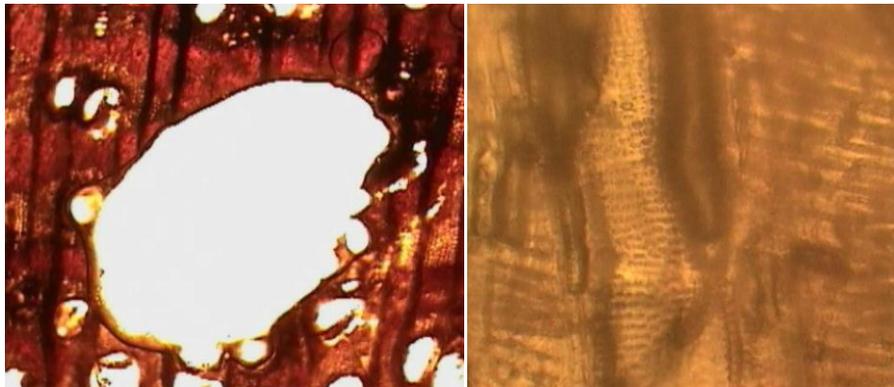


Figura 15. Muestra. Secciones transversal y tangencial. Estado de la madera de la estructura

Se realizaron ensayos en el Laboratorio del Taller de Investigación y Diseño Estructural, de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional de Córdoba para conocer las características físico-mecánicas de la madera:

Densidad =  $690 \text{ kg/m}^3$

Módulo de Elasticidad Medio  $E_m = 63667 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de Elasticidad Efectivo (para verificación de la deformación teniendo en

cuenta la fluencia lenta):

$$E_{ef} = k_{mod1} \times k_{mod2} \times k_{mod3} \times E_m$$

$$E_{ef} = 0.6 \times 0.8 \times 0.8 \times 63667 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_{ef} = 24448.128 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Resistencia característica: } f_{c0k} = 379 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Resistencia de cálculo: } f_{c0d} = \frac{0.60 \times 0.80 \times 0.80 \times 379 \text{ kg/cm}^2}{1.4}$$

$$1.4$$

$$f_{c0d} = 103.95 \text{ kg/cm}^2$$

- Características de la Cubierta de techo sobre la cabriada:

La imposibilidad de realizar un análisis invasivo, ha obstaculizado la determinación fehaciente de la constitución material de la cubierta, en los aspectos que no estaban a la vista. Se ha supuesto, entonces, su conformación y las características físicas y mecánicas de los materiales componentes, en base a antecedentes de estudios que se realizaron en otras construcciones similares contemporáneas a la estancia, como la Estancia de Alta Gracia, y el Museo de Jesús María. En base a esos estudios y a los relevamientos de campo y planialtimétrico, se determinaron los espesores de cada uno de los materiales constitutivos, tarea que permitió cuantificar la carga por metro cuadrado.

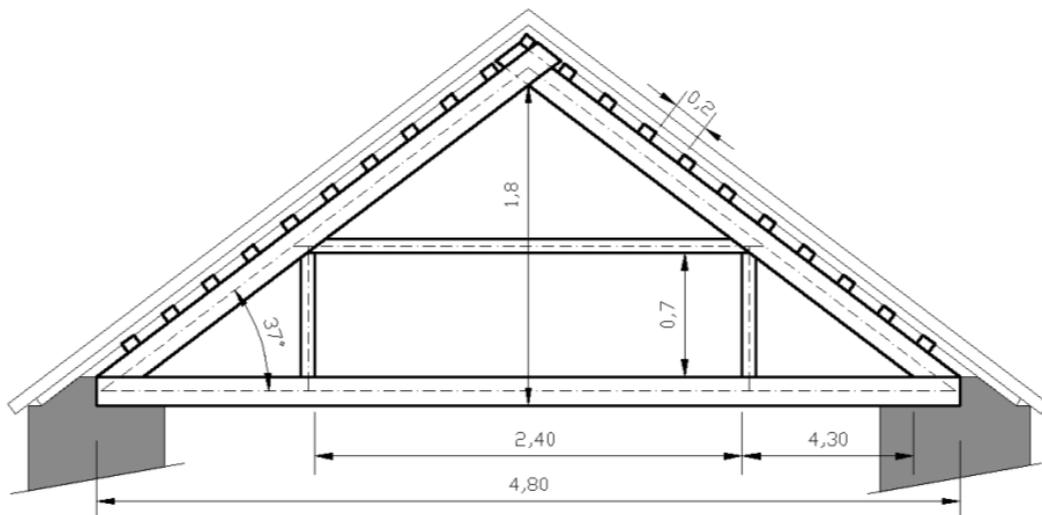


Figura 16. Corte Cabriada

La cubierta es de similares características que la de la galería del Patio de los Esclavos. Está conformada por bovedillas de 18 cm x 28 cm x 3 cm de alto, asentadas sobre los cabios, y sobre ellos se encuentran colocadas tejas españolas con una argamasa de 4,5 cm de espesor, utilizada como mortero de asiento, como se indica en la Figura 16.

- Análisis de cargas de cubierta

Una vez estudiada la conformación y geometría de la cubierta, se realiza el análisis de cargas sobre la misma. Las cargas resultantes son entonces: cargas

permanentes  $g = 209.80 \text{ kgf/m}^2$ , y carga variable:  $p = 23.00 \text{ kgf/m}^2$ .

Cargas sobre cubierta según el esquema estructural:

$g$  cubierta  $209.80 \text{ kgf/m}^2 \times 1.7 \text{ m}$  \_\_\_\_\_  $356.67 \text{ kgf/m}$

$p$  p cabios  $(0.08\text{m} \times 0.055\text{m} \times 1.7\text{m}) / 0.2\text{m} \times 690 \text{ kg/m}^3$  \_\_\_\_\_  $25.81\text{kgf/m}$

**total g** \_\_\_\_\_ **382.48 kg/m**

$p$   $23.00 \text{ kg/m}^2 \times 1.7 \text{ m}$  \_\_\_\_\_  $40.48 \text{ kg/m}$

Para el cálculo de las solicitaciones y de la deformabilidad de la estructura, con los datos ya obtenidos se utilizó el software Strap, ver Tablas 1 y 2, y Figura 17.

MATERIAL	PESO ESPECIFICO		$E_m$		$E_m$	
	$\text{Kg/m}^3$	$\text{t/m}^3$	$\text{Kg/m}^3$	$\text{t/m}^3$	$\text{Kg/m}^3$	$\text{t/m}^3$
Mampostería	1300	1.3	1600	160000	-----	-----
Algarrobo	690	0.69	63667	636670	24448.1	244481
					$(K_{\text{mod}} = 0.6 \times 0.8 \times 0.8)$	

Tabla 1 - Datos de Materiales

Nº DE BARRA	b (cm)	h (cm)
1 (Mamp)	98	60
(pares) 2 - 3 - 4 - 5	13.5	16
6 (Mamp)	80	60
(nudillo) 7 - 8 - 9	15	7.5
(montantes) 10 - 11	15	7.5
(tirante) 12 - 13 - 14	13.5	16

Tabla 2 - Secciones de las barras

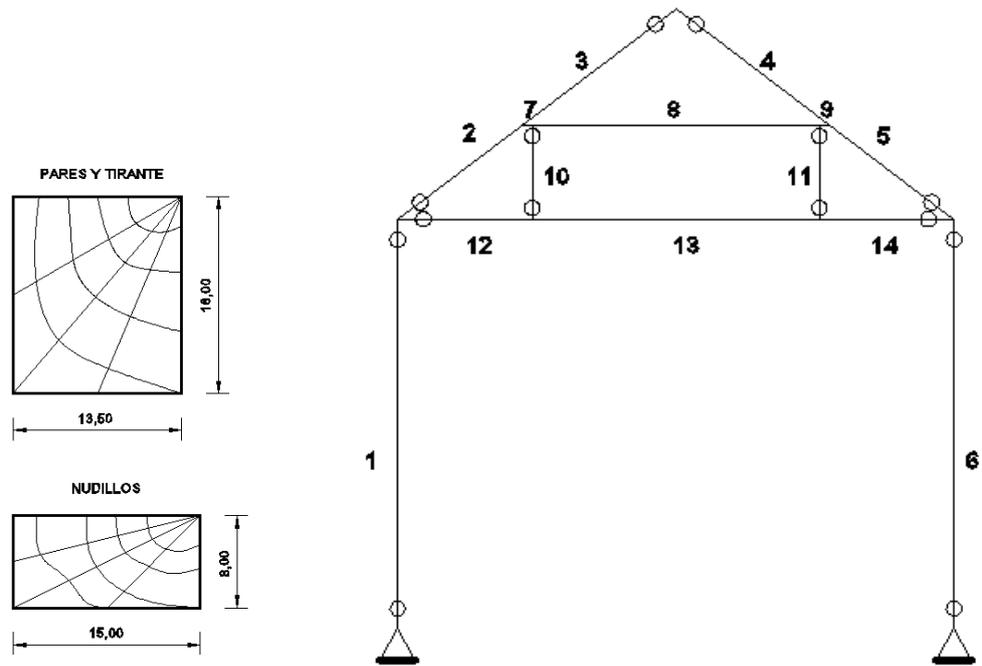


Figura 17. Secciones de barras. Geometría de la cabriada

- Combinaciones de cargas (según lo establecen las Normas Brasileras BR7190), ver Figura 18:

Para cálculo de las sollicitaciones y verificación de la resistencia:  $1.3 g + 1.4 p$   
 $1.3 \times 382.48 \text{ kg/m} + 1.4 \times 40.48 \text{ kg/m} = 553.89 \text{ kg/m}$  \_\_\_\_\_  $q_1 = 0.55 \text{ t/m}$

Para verificar la deformabilidad:  $1 g + 0.2 p$

$1 \times 382.48 \text{ kg/m} + 0.2 \times 40.48 \text{ kg/m} = 390.57 \text{ kg/m}$  \_\_\_\_\_  $q_2 = 0.39 \text{ t/m}$

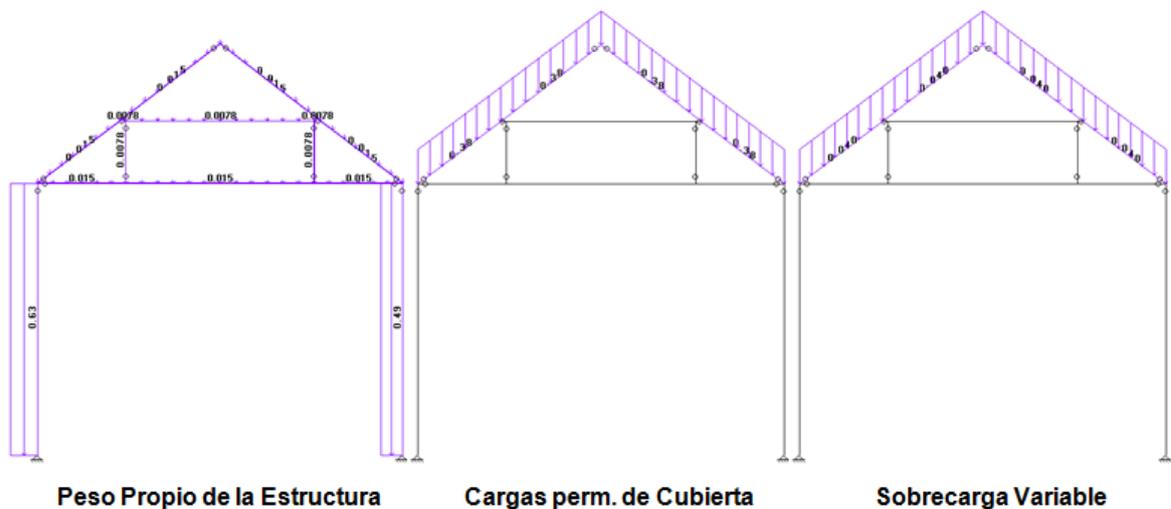


Figura 18. Diagramas de Cargas

- Resultados obtenidos: ver las Figuras 19, 20 y 21, y la Tabla 3.

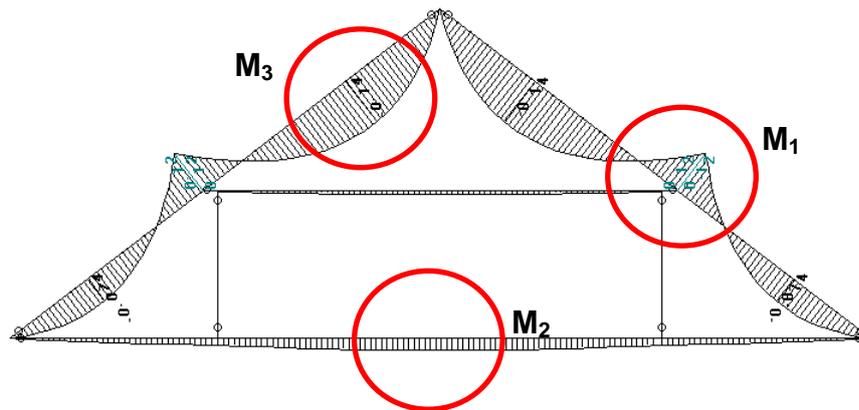


Figura 19. Diagrama de Momentos Flectores

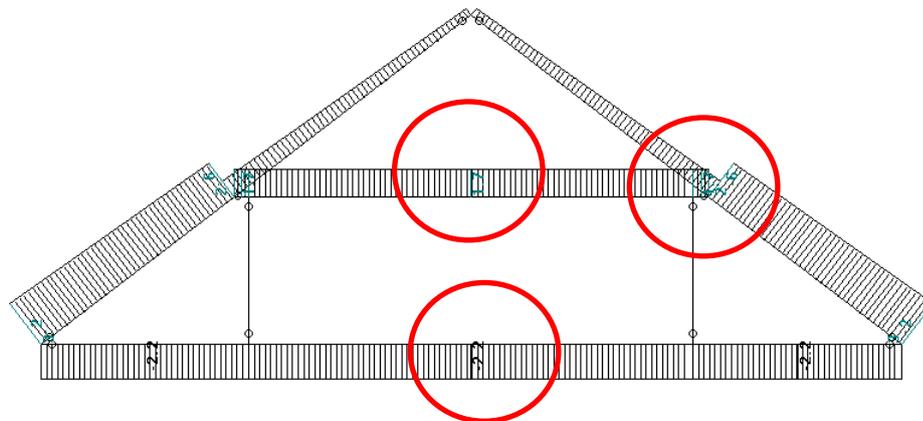


Figura 20. Diagrama de Esfuerzos Normales

Nº de barra	Denominación	Momento Flector	Esfuerzo de Tracción	Esfuerzo de Compresión
13	tensor	-----	2200 kg	-----
8	nudillo	1100kgcm	-----	1700 kg
2,3,4,5	pares	10910kgcm	-----	2670 kg

Tabla 3 - Máximas sollicitaciones en barras

-Verificación seccional de los pares (barra 3):

Geometría:  $A = 178.5 \text{ cm}^2$   $l_p = 1.65\text{m}$

Solicitaciones:  $M_1 = 10910 \text{ kgcm}$   $N = 2670 \text{ kg}$

$$W = \frac{10.5^2 \times 17}{6} = 302.37 \text{ cm}^3 \quad J = \frac{10.5^3 \times 17}{12} = 1639 \text{ cm}^4$$

$$i = \sqrt{\frac{1639}{178.5}} = 3.03 \text{ cm} \quad \lambda = \frac{165}{3.03} = 54.4 > 40$$

$$e_a = \frac{165}{300} = 0.55 \text{ cm}$$

$$e_i = \frac{10910}{2670} = 4.08 \text{ cm}$$

$$e_1 = 4.08 + 0.55 = 4.63 \text{ cm}$$

Carga Crítica:

$$F_E = \frac{\pi^2 \times E_{c0\text{ef}} \times I}{L^2} \quad F_E = \frac{3.1416^2 \times 24448 \times 1639}{165^2} = 14526 \text{ kg}$$

$$e_d = e_1 \left( \frac{F_E}{F_E - N_u} \right) = 4.63 \times \left( \frac{14526}{14526 - 2670} \right) = 5.67 \text{ cm}$$

$$M_d = N_d \times e_d = 2670 \times 5.67 = 15139 \text{ kgcm}$$

$$\sigma = \frac{2670}{178.5} + \frac{15139}{302.37} = 65.06 \text{ kg/cm}^2 < 103.95 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{VERIFICA}$$

- Verificación seccional del tensor (barra 13):

Geometría:  $A = 255 \text{ cm}^2$        $W = 637 \text{ cm}^3$

Solicitaciones:  $M_2 = 9100 \text{ kgcm}$        $N = 2088 \text{ kg}$

$$\sigma = \frac{2088}{255} + \frac{9100}{637} = 22.38 \text{ kg/cm}^2 < 103.95 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{VERIFICA}$$

- Verificación seccional del nudillo (barra 8):

Geometría:  $A = 112.5 \text{ cm}^2$        $W = 140.6 \text{ cm}^3$        $I = 527.34 \text{ cm}^4$        $l_p = 2.46 \text{ m}$

Solicitaciones:  $M_2 = 1100 \text{ kgcm}$        $N = 1700 \text{ kg}$

$$i = \sqrt{\frac{527.34}{112.5}} = 2.16 \text{ cm} \quad \lambda = \frac{246}{2.16} = 114 > 80 \text{ pieza esbelta}$$

Cálculo de excentricidad accidental mínima y excentricidad inicial.

$$e_a = \frac{246}{300} = 0.82 \text{ cm}$$

$$e_i = \frac{1100}{1700} = 0.65 \text{ cm}$$

$$e_{ig} = \frac{M_{gd}}{N_{gd}} = \frac{1100}{1630} = 0.674 \text{ cm}$$

Carga Crítica:

$$F_E = \frac{\pi^2 \times E_{c0\text{ef}} \times I}{L^2} \quad F_E = \frac{3.1416^2 \times 24448 \times 527.34}{246^2} = 2102 \text{ kg}$$

Cálculo de excentricidad complementaria debido a la fluencia lenta de la madera.

$$e_c = (e_{ig} + e_a) \left\{ \text{Exp} \left[ \frac{\Phi [N_{gk} + (\Psi_1 + \Psi_2) N_{qk}]}{F_{E-} [N_{gk} + (\Psi_1 + \Psi_2) N_{qk}]} \right] - 1 \right\}$$

$$e_c = (0.674 + 0.82) \left\{ 2.71 \left[ \frac{0.8 [1250 + (0.3 + 0.2) 70]}{2102 - [1250 + (0.3 + 0.2) 70]} \right] - 1 \right\} = 3.752 \text{ cm}$$

Cálculo de excentricidad efectiva de primer orden:

$$e_{1ef} = e_i + e_a + e_c = 0.65 + 0.82 + 3.75 = 5.22 \text{ cm}$$

$$M_d = N_d \times e_{1ef} \left( \frac{F_E}{F_E - N_d} \right) \quad M_d = N_d \times e_{1ef} \left( \frac{2102}{2102 - 1700} \right) = 46400 \text{ kgcm}$$

$$\sigma_M = \frac{46400}{140.6} = 330 \text{ kg/cm}^2 \quad \sigma_N = \frac{1700}{112.5} = 15.11 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{c0d}} \leq 1 \quad \frac{15.11}{103.9} + \frac{330}{103.9} = 3.33 \gg 1 \quad \text{NO VERIFICA}$$

- Verificación del estado límite de deformación.

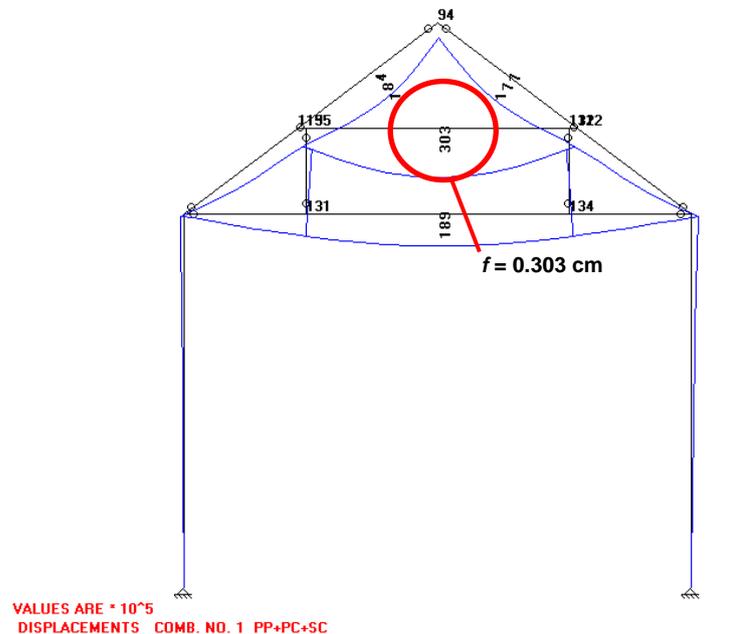


Figura 21. Descensos Máximos

Flecha Máxima relevada: Dada la irregularidad del tensor la medición realizada en obra del descenso arrojó un valor aproximado de 1 cm.

**Flecha Máxima de Cálculo: 0.303 cm < Flecha Máxima relevada.**

## CONCLUSIONES

Las deformaciones detectadas en la obra superan en algunos casos las consideradas admisibles; eso se puede atribuir a una disminución de la sección neta de las barras por la formación de galerías producidas por insectos, detectadas en el estudio microscópico.

La verificación de todos los elementos estructurales analizados en el presente trabajo se ha realizado considerando las secciones netas relevadas sin disminución por defectos en la madera, producidos a través de su vida útil.

En la cabriada analizada se puede observar que las tensiones de compresión en nudillo, considerando la estabilidad al pandeo son superiores a las resistencias de cálculo. Se sugiere entonces, como medida de seguridad el agregado de una nueva barra que disminuya la longitud de pandeo del nudillo, pero conservando la pieza original.

Con respecto a las galerías de insectos, que debilitan la madera y facilitan su putrefacción, se propone en primer lugar realizar las reparaciones necesarias para restituir la sección original de las piezas de madera. Se aconsejan también acciones para impedir el aumento de contenido de humedad de la madera, y luego aplicar insecticidas líquidos en los muros en lugares donde estén en contacto con las vigas, y luego realizar el tratamiento de la madera original utilizando un insecticida fungicida específico.

Como conclusión del trabajo se puede considerar que en general el comportamiento de la estructura ha sido satisfactorio sobre todo considerando una antigüedad cercana a los 360 años y una marcada falta de mantenimiento en períodos prolongados.

A pesar de su antigüedad, estas obras siguen brindando a aquéllos que investigan su construcción enseñanzas sobre el buen construir a pequeño costo, tal como se menciona en el libro de Philibert de L'Orme.

## AGRADECIMIENTO

Agradecimiento especial al Consejo de Administración de la Estancia Jesuítica Santa Catalina, en la persona de su administrador, Arq. Daniel M. de la Torre.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 7190 – *Projeto de Estruturas de Madeira*. (Río de Janeiro. 1997)
- [2] José Luis Gomez: *Estructuras De Madera* (Edit. Ingreso, Córdoba, 2000).
- [3] R. Argüelles Alvarez y F. Arriaga Martitegui: *Estructuras De Madera - Diseño Y Calculo*
- [4] Philibert de L'Orme: *Des Oeuvres et Nouvelles Inventions pour bien Bastir*.