

CONPAT 2013

30 de Sep. al 04 Oct. de

Una especialidad todas las disciplinas



Asociación Latinoamericana de
Control de Calidad, Patología y
Recuperación de la Construcción



Asociación Latinoamericana de
Control de Calidad, Patología y
Recuperación de la Construcción
Capítulo Colombia

**Patología, Control de Calidad y
Recuperación de la Construcción**

ISBN: 978-958-58090-1-7

Ed. Asociación Latinoamericana
de Control de Calidad, Patología y Recuperación
de la Construcción-Capítulo Colombia
30 de Septiembre de 2013

02 04 2014

XII CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y XIV CONGRESO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN



CONFERENCIAS ESPECIALES

CONTROL DE CALIDAD

PATOLOGÍA

RECUPERACIÓN

PATROCINADORES Y APOYO

COMITÉS

CONPAT 2013
30 de Sep. al 04 Oct. de

Asociación Latinoamericana de Control De Calidad,
Patología y Recuperación De La Construcción

PDF	ARTÍCULO	AUTORES	FILIACIÓN	PAÍS
	Superbloque Cerro Grande, primera unidad de habitación en Caracas	Beatriz Meza Suinaga (1) Mirta Linero Baroni (2)	1 - Universidad Central de Venezuela 2 - Patronato Panamá Viejo	Venezuela
	Avaliação, análise e diagnóstico para a recuperação da igreja e convento nossa senhora da conceição – Itanhaém - Brasil	Douglas Barreto (1) Guilherme Aris Parsekian (1) Marcos Carrilho (2)	1 - Universidade Federal de São Carlos 2 - Universidade Presbiteriana Mackenzie	Brasil - Alemania
	Estudio del comportamiento estructural de bóvedas y cúpula de la estancia Jesuítica Santa Catalina	José Luis Gómez María Edel Ruata Cecilia Nicasio Karin Klein	Universidad Nacional de Córdoba	Argentina
	Igreja de Santo Antônio da Mouraria em Salvador, Bahia-Brasil: estudo histórico e diagnóstico	Elisângela Leão Ana Cristian Magalhães	Universidade Federal da Bahia	Brasil
	Levantamento e estudo de manifestações patológicas da paróquia de São Geraldo - Porto Alegre/RS	Giselle Reis Antunes B. do Vale Silva Ana Carolina Kamura de Lucca Thiago dos Santos Henriques Angela Borges Masuero	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Brasil
	Tratamento da humidade ascensional no património histórico	Vasco Peixoto de Freitas Ana Sofia Guimarães	Universidade do Porto	Portugal



Anterior



Menú

Siguiente



Estudio del comportamiento estructural de bóvedas y cúpula de la estancia jesuítica santa catalina

J. L. Gómez¹, M. E. Ruata,² C. Nicasio,³ K. Klein⁴

^{1,2,3,4} Taller de Investigación de Diseño Estructural, TIDE, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de Córdoba. ¹ e-mail: ccp-cons@ciudad.com.ar ² e-mail: pini ruata@hotmail.com ³ e-mail: cecilia.nicasio@gmail.com
⁴ e-mail: karinklein_2k@hotmail.com

RESUMEN

Este trabajo muestra el estudio realizado para evaluar el comportamiento estructural de la cúpula de la Iglesia Jesuítica Santa Catalina, y su bóveda, así como las bóvedas del noviciado y de una habitación de la Estancia, con manifestación de fisuras.

Se describen las tareas realizadas previas al análisis tensional, que incluyeron un relevamiento planialtimétrico general mediante estación total, a efectos de confeccionar los planos digitalizados y fundamentalmente, determinar los espesores de las bóvedas y cúpula. Se realizaron también dos pozos tangenciales para analizar las características del suelo y profundidad de las fundaciones. La verificación seccional se realizó con el software Algor, de análisis por elementos finitos, a partir de modelos sólidos de CAD.

Los resultados de estos estudios, permitieron evaluar la seguridad de la estructura de bóvedas y cúpula, y proponer actuaciones para la preservación y mantenimiento de este edificio declarado patrimonio cultural de la humanidad por la Unesco.

Palabras clave: cúpula, bóvedas, patrimonio, análisis tensional

ABSTRACT

This paper presents the study to evaluate the structural behavior of the dome of the Santa Catalina Jesuit church, and its dome and vaults of the novitiate and a room of the ranch, with demonstration of cracks.

We describe the work performed prior to stress analysis, including a survey by total station planialtimétrico generally, in order to make scanned blueprints and fundamentally determine the thickness of the vaults and dome. There were also two wells tangential to analyze soil characteristics and depth of foundations. The verification was performed sectional Algor software, finite element analysis, from CAD solid models.

The results of these studies allow assessing the safety vaults and dome structure, and propose actions for the preservation and maintenance of this building declared cultural heritage of humanity by UNESCO.

Keywords: dome, vaults, heritage, stress analysis

Autor de contacto: K. Klein

1. 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 mampostería utilizadas por los Jesuitas en la construcción de la Estancia Santa Catalina, enclavada en un paraje rural a 70 km de la ciudad de Córdoba, Argentina.

La Estancia Santa Catalina integra el conjunto de estancias jesuíticas declaradas Patrimonio de la Humanidad en 2000, por la UNESCO, y comprende la iglesia, la residencia con sus tres patios y locales anexos, el noviciado, las ruinas de la ranchería (habitaciones para esclavos), el tajamar, restos de acequias y molinos. Conservada casi en su totalidad, es la más amplia de todas las Estancias, y la única que permanece bajo dominio privado. Figura 1.



Figura 1: Vista general de la Estancia Santa Catalina

Su Iglesia, de gran cúpula y atrio sobre elevado, denota influencia del barroco centroeuropeo, 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. Figura 2.



Figura 2: Fachada principal de la Iglesia

Se destacan también la Residencia Jesuítica, estructurada en torno a los tres patios, y el edificio del Noviciado.

2. ESTUDIOS REALIZADOS

La necesidad de obtener datos sobre los espesores de las bóvedas de los diferentes sectores de la Estancia y de la cúpula de la Iglesia, decidió la realización de un relevamiento planialtimétrico completo de la Estancia mediante estación total, con la asistencia de un equipo de topógrafos.

Se realizaron también dos pozos tangentes a la cimentación con el objeto de dilucidar el tipo de fundación, la profundidad de la misma y conocer a esa profundidad, la capacidad portante del terreno.

El relevamiento permitió también la confección de planos y cortes de la Estancia, ya que los existentes no resultaron confiables en una primera comparación con las mediciones en obra. Figura 3.

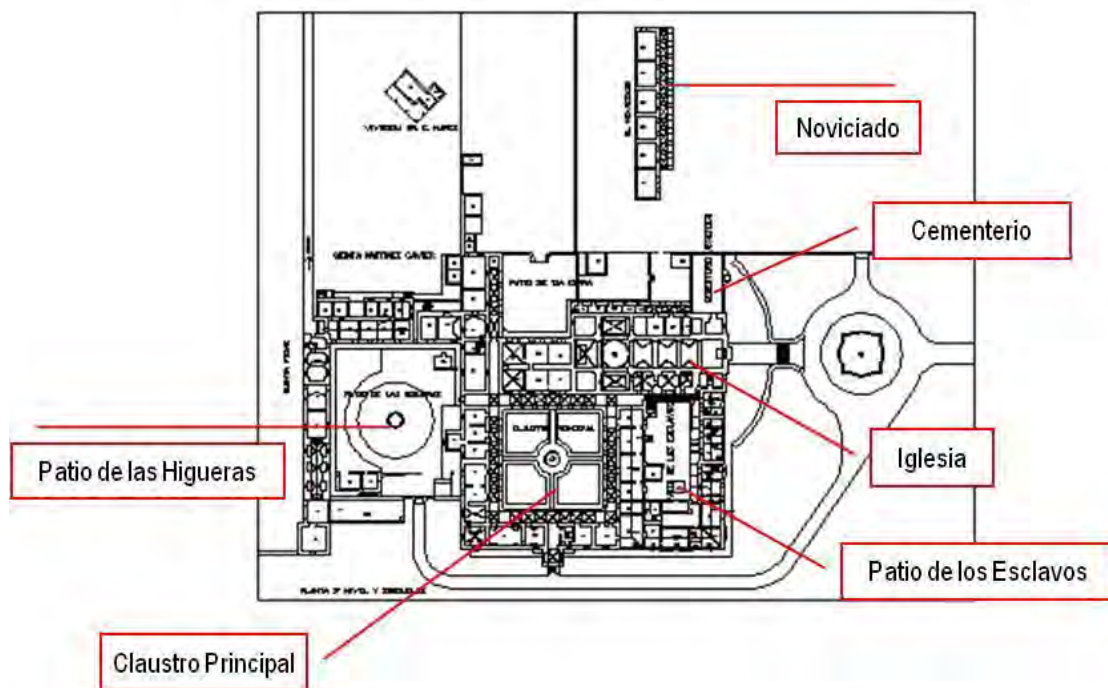


Figura 3: Planta general realizada en CAD según relevamiento

3. VERIFICACIÓN TENSIONAL DE LA CÚPULA

En el relevamiento visual de fisuras no se evidenciaron patologías de este tipo dentro de la Iglesia, tanto en la bóveda que constituye la nave, como en la cúpula que conforma el crucero de la misma. Figura 4.

No obstante, y para tener certeza sobre el grado de seguridad de la cúpula, se realizó un modelo computacional de la misma, en el sector del crucero, en base a las mediciones realizadas mediante la estación total desde el interior y el exterior de la nave, con lo cual fue posible deducir tanto el espesor de la cúpula como el del tambor que constituye su basamento y de la linterna que la corona.

Estudio del comportamiento estructural de bóvedas y cúpula de la Estancia Jesuítica Santa Catalina

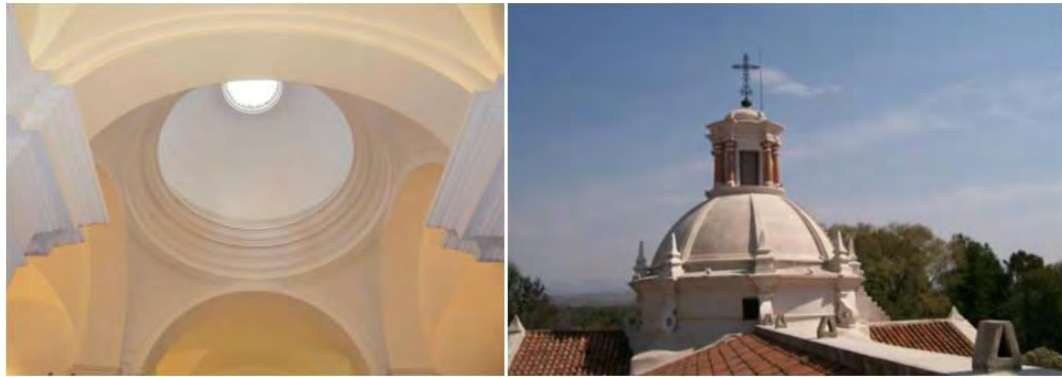


Figura 4: vista interior y exterior de la cúpula de la Iglesia

Debe mencionarse la absoluta imposibilidad de realizar exploraciones invasivas a la construcción, por su condición de valor patrimonial, por lo que los espesores reales de las diversas partes de la estructura podrían tener alguna ligera diferencia con los espesores estimados a partir de las mediciones realizadas.

Los datos dimensionales de la cúpula se muestran en la siguiente sección del modelo realizado como sólido de CAD. Figura 5.

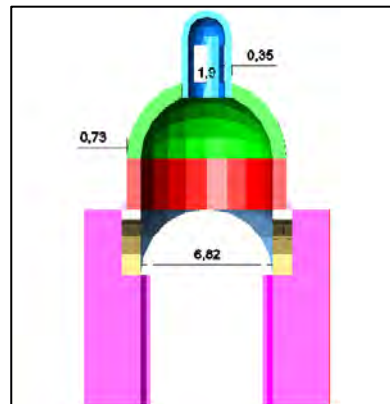


Figura 5: Modelo de CAD con datos seccionales (en m)

El modelo de la cúpula fue mallado automáticamente y procesado mediante el programa de análisis por elementos finitos Algor V19. Figura 6.

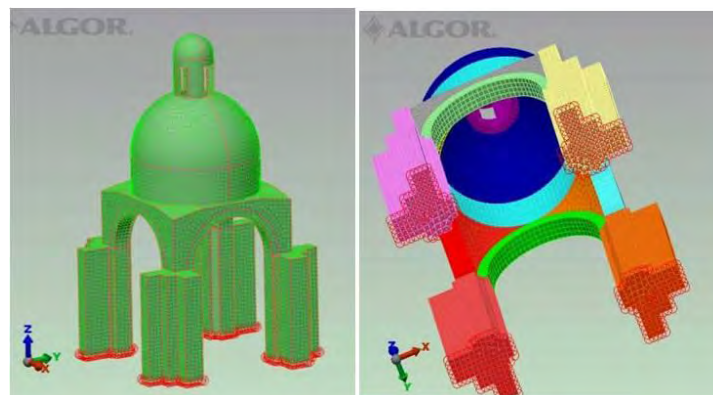


Figura 6: Modelo de cúpula mallado con Algor V19 – Vista exterior e interior

Para considerar la incertidumbre que se tenía con respecto a los verdaderos espesores así como a las cargas impuestas por los ornamentos existentes en la cúpula, linterna y tambor, se decidió procesar el modelo bajo un estado de cargas permanentes incrementadas con un factor 1,05.

El material constructivo de la cúpula, mampostería cerámica, se definió con una densidad de 1800 kg/m^3 y un módulo de elasticidad de $2,7 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ al igual que el material del tambor, pechinas, relleno sobre las mismas. Por otra parte, el material de mampostería mixta de piedra y cerámicos de los muros se definió con densidad 2100 kg/m^3 y $E = 1,95 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$.

3.1 Resultados de la Cúpula

La verificación de tensiones y deformaciones de la cúpula dio los siguientes resultados:

3.1.1. Deformación máxima según la dirección vertical (z) de 2,4 mm.

3.1.2. Tensiones de Compresión: El mapa de tensiones principales mínimas muestra valores que llegan a 2052113 N/m^2 . Una visualización en detalle permite ver que estas tensiones corresponden a pequeños puntos muy localizados, mientras que, en general, los valores de tensiones de compresión que corresponden al tambor y cúpula, tanto en el extradós como en el intradós, no llegan a superar los 11 kg/m^2 (en el gráfico colores del naranja al celeste). Figura 7.

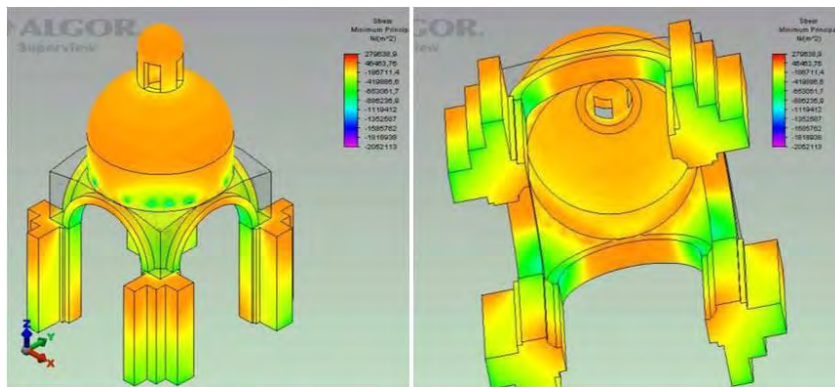


Figura 7. Mapa de tensiones principales de compresión

Por su parte, en la base de los muros y columnas que conforman el crucero de la Iglesia donde se asienta la cúpula, al nivel de terreno, las tensiones máximas llegan a los 886236 N/m^2 en algunos puntos, pero puede tomarse como tensión de compresión en la base de muros un valor promedio de $4,2 \text{ kg/cm}^2$. (colores naranja a beige claro) Figura 8.

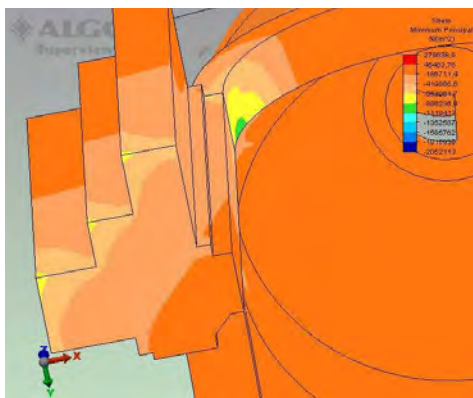


Figura 8: Tensiones de compresión en bases de muros del crucero

3.1.3. Tensiones de Tracción: Con relación a las tensiones principales máximas, en el sector del tambor se observan algunos pequeños puntos que alcanzan valores por encima de los $5,7 \text{ kg/cm}^2$ (amarillo al rojo). En la zona del borde del tambor, se evidencian tracciones de entre $2,5$ y $0,9 \text{ kg/cm}^2$, mientras que en general, en el resto las tensiones de tracción se mantienen por debajo de este último valor.

El mapa de tensiones de tracción de la cúpula muestra valores que van desde los $0,1$ a los $0,48 \text{ kg/cm}^2$, totalmente aceptables en relación a la capacidad resistente a tracción de la mampostería cerámica que se considera del orden de los $1,8 \text{ kg/cm}^2$, lo que confirma la no visualización de fisuras durante las inspecciones oculares a la misma. Figura 9.

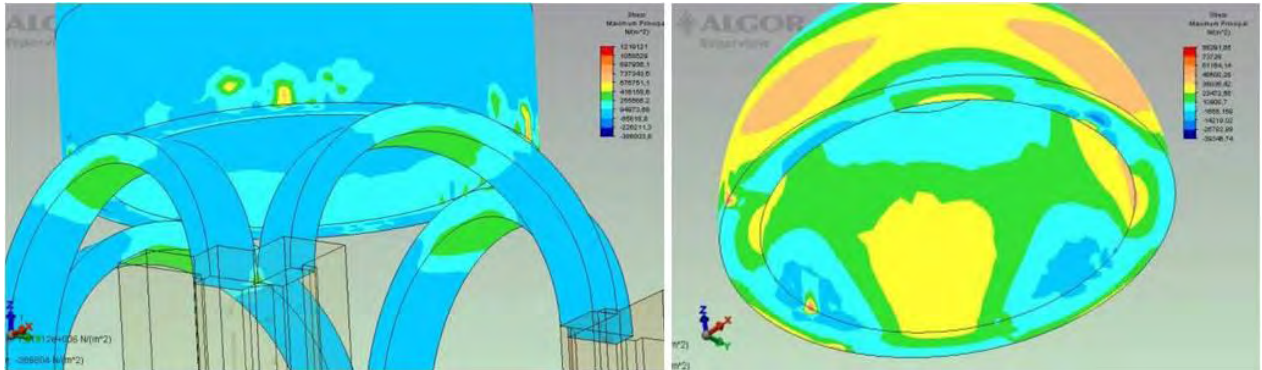


Figura 9: Tensiones principales de Tracción en el tambor y en la cúpula

4. VERIFICACIÓN TENSIONAL DE LA BÓVEDA DE HABITACIÓN D9

Durante el relevamiento visual y fotográfico, se evidenciaron fisuras en algunas bóvedas que conforman las cubiertas de las habitaciones que rodean el patio principal. Una de ellas, la habitación denominada D9, resultó de particular interés para el estudio, dado que pudo hacerse una calicata exterior al muro, que también se mostraba fisurado junto con la bóveda, con lo cual se pudo estimar la resistencia del suelo de fundación del mismo. Figura 10.



Figura 10: Vistas de habitación D9 y ubicación de pozo tangente realizado

La característica de esquina origina que su cubierta esté conformada por el cruce de las dos bóvedas que llegan de las respectivas alas del patio, formándose lo que se conoce como bóveda de rincón de claustro, sobre las que se asienta la cubierta de tejas a dos aguas. A su vez, esta bóveda está socavada por cuatro lunetas en cada uno de sus lados. La Figura 11 muestra el interior de la habitación D9, con las fisuras visualizadas (remarcadas en negro para su mejor apreciación).



Figura 11: Sector de habitación D9 con fisuras

Se construyó un modelo de sólido en CAD constituido por tres partes: muros, bóveda de rincón de claustro y relleno bajo cubierta, y se lo procesó con el programa Algor. La cubierta de tejas se representó como una carga uniforme de 190 kg/m^2 aplicada sobre los faldones a dos aguas sobre el relleno, el cual es una argamasa de material cementicio con cerámica y piedras. Los materiales son similares a los de la Iglesia. La geometría y cargas del modelo se muestran en la Figura 12.

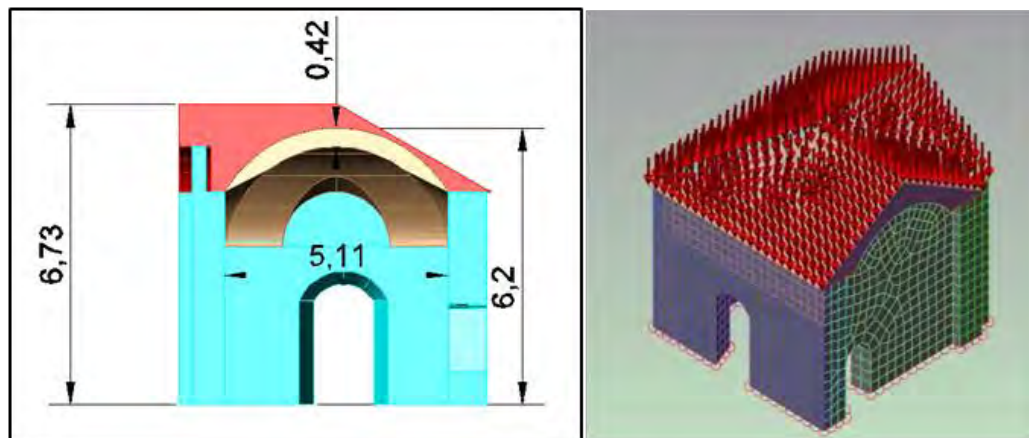


Figura 12: Geometría y cargas aplicadas en modelo D9

4.1 Resultados de la Habitación D9

4.1.1. Deformación máxima para las cargas consideradas: $0,035 \text{ mm}$ en la clave de la bóveda.

4.1.2. Tensiones de Compresión: Las tensiones de compresión, muestran valores muy por debajo de la capacidad resistente del material. Tanto en el intradós como en el extradós de la bóveda no llegan a los 2 kg/cm^2 (colores rojo al verde) con algunos puntos muy localizados de tensiones en los bordes de arranque de las lunetas, que llegan a los $2,9 \text{ kg/cm}^2$.

4.1.3. Tensiones de Tracción: Las tensiones de tracción, de nuestro mayor interés por la posibilidad de origen de fisuras, tampoco resultaron preocupantes. La mayor superficie de la bóveda, por ambas caras, no llega a superar los $0,5 \text{ kg/cm}^2$ (tonos de azul en el mapa tensional), con algún punto muy pequeño sobre el borde de la luneta que llega a $1,2 \text{ kg/cm}^2$. En la Figura 13 se muestran los respectivos mapas tensionales de compresión y tracción y ampliada la zona en que las tensiones de tracción llegan a sus valores máximos de $1,2 \text{ kg/cm}^2$.

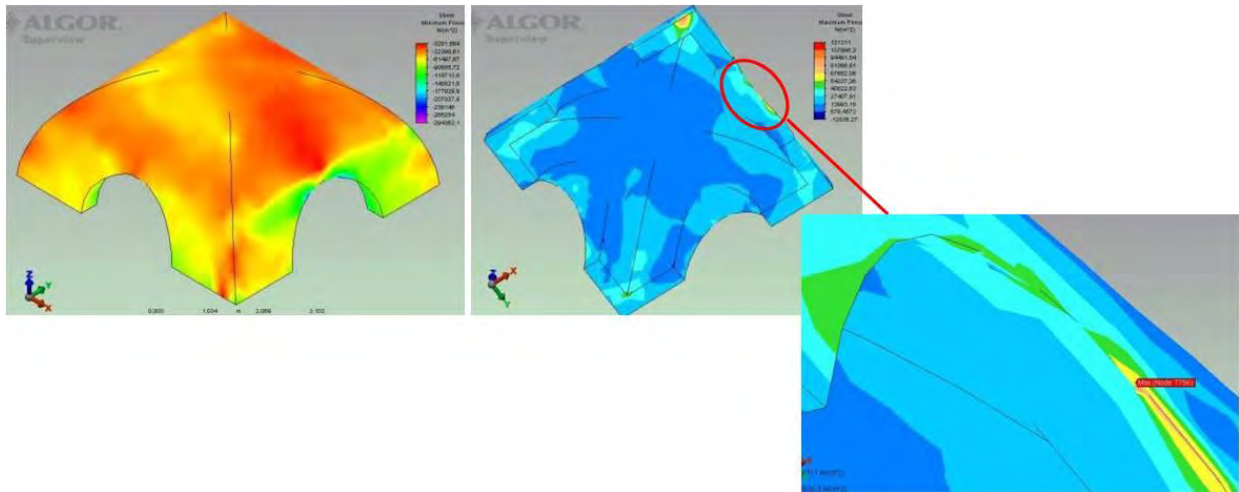


Figura 13: Mapas de tensiones de compresión y tracción de habitación D9

Descartada entonces, tal como se preveía dada la antigüedad de la obra, la posibilidad de que el origen de la fisura se deba a excesivas tensiones de tracción en la bóveda, se compararon las tensiones de compresión que llegan a la base de muros, que para las cargas permanentes alcanzan los $2,05 \text{ kg/cm}^2$, con la tensión admisible de terreno obtenida en ese sector, que resultó de $0,95 \text{ kg/cm}^2$. Figura 14.

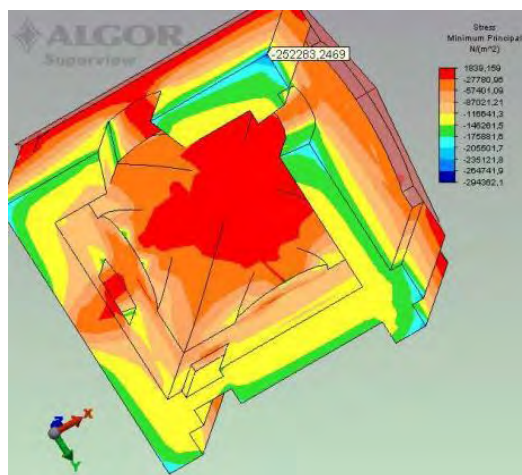


Figura 14: Tensiones de compresión en la base de muros de habitación D9

Esto significa, considerando un coeficiente de seguridad 3 que la tensión de rotura del suelo es del orden de los $2,85 \text{ kg/cm}^2$, un valor bastante cercano a las tensiones producidas en la base de los muros del sector. Por otro lado, el contenido de humedad del terreno, $19,5 \%$, medido en la base de la habitación D9, resultó mucho mayor que en otros sondeos, por lo que se considera posible que estas dos condiciones, capacidad resistente y humedad del suelo de fundación, sean la causa de la aparición de la fisura relevada en el muro de la habitación.

5. VERIFICACIÓN TENSIONAL DEL SECTOR DEL NOVICIADO

El edificio del Noviciado, ubicado a unos 150 metros al noreste de la Iglesia, es uno de los pocos sectores donde puede apreciarse la técnica constructiva de las bóvedas de mampostería. Sus

muros son de mampostería mixta de piedra y cerámica. Así mismo, en esta construcción es posible visualizar el material constitutivo del relleno entre faldones de cubierta y bóvedas, por lo que se puede suponer que es el mismo utilizado en las otras bóvedas analizadas a efectos de estimar su peso propio. Figura 15.



Figura 15: Vistas generales del edificio del Noviciado

Para conocer el grado de seguridad de la bóveda de cañón corrido que conforma el techo de las habitaciones del Noviciado y las bóvedas de aristas de la galería, se realizó un modelo de un sector, en base a las mediciones realizadas, con las cuales fue posible deducir los espesores de los distintos elementos de la estructura.

El modelo del sector del noviciado, se realizó de manera similar a los otros dos modelos anteriores.

5.1. Resultados

5.1.1: Descensos máximos (z): 1,6 mm en bóveda de la habitación, y 0,9 mm en bóvedas de la galería.

5.1.2. Tensiones de Compresión: El mapa de tensiones principales de compresión muestra un valor máximo de 2271792 N/m² en el encuentro entre las bóvedas de galería con las columnas (azul) En la clave de las bóvedas de la galería, las tensiones están por debajo de los 368726 N/m² (beige claro) igual que en la clave de la bóveda de cañón.

Por su parte, , al nivel de terreno, las tensiones máximas de compresión, resultaron: en la base de los muros con valores que varían en el ancho de los mismos, entre 368726 N/m² a 96800 N/m², dando un promedio de 232763 N/m² (2,3 kg/cm²); en la base de las columnas, la variación en el ancho es de 912000 a 96800 N/m², lo que da un promedio de 504400 N/m² (5 kg/cm²) (colores naranja a beige claro del gráfico).

Estos valores no resultan en absoluto preocupantes, dado que este edificio, ubicado a considerable distancia del resto de la Estancia, está fundado sobre roca madre, terreno cuyas tensiones de rotura son muy altas.

5.1.3. Tensiones de Tracción: el modelo muestra puntos de concentración de tensiones elevadas ubicados en la zona de contacto entre bóvedas de aristas de la galería y columnas, con valores que en algún punto muy pequeño llegan a los 17,8 kg/cm² (color rojo) y decrecen rápidamente en las cercanías del mismo hasta valores del orden de los 7 kg/cm² (color verde). El resto de la bóveda está trabajando con tensiones de tracción de entre 2,2 y 0,8 kg/cm². (Colores celeste -

azul). Por su parte, la bóveda de cañón corrido de las habitaciones tiene tensiones de tracción en su clave con valores entre los 2 y 3 kg/cm². Figura 16.

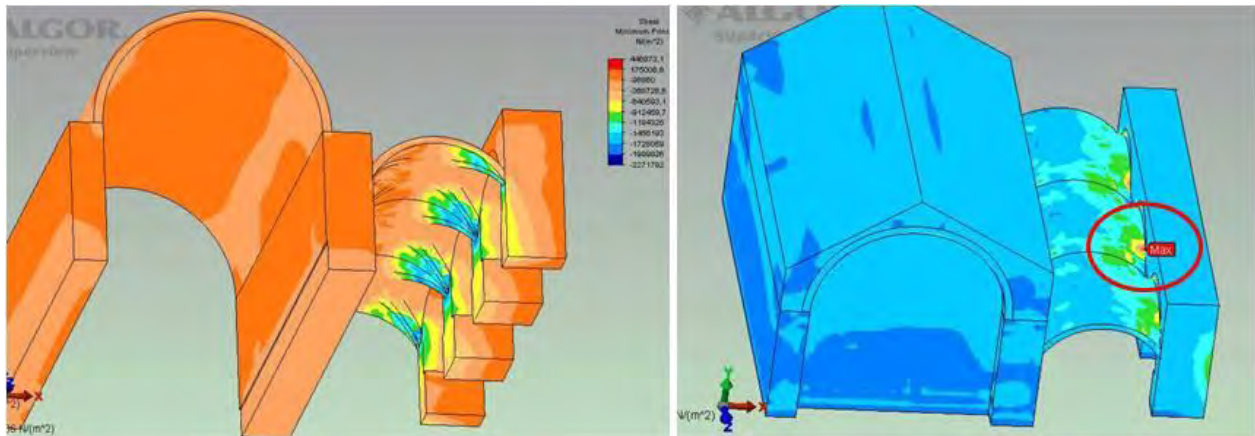


Figura 16: Tensiones de Compresión y Tracción en el sector del Noviciado

6. CONCLUSIONES

Los modelos realizados de diversos sectores de la Estancia Santa Catalina, permitieron corroborar las presunciones sobre el aceptable grado de seguridad de las bóvedas y cúpula, demostrado por la escasa visualización de manifestaciones patológicas en las mismas, en cuanto a su conformación estructural.

Puede decirse que los valores de tensiones en la base de los muros en los casos analizados: cúpula de la Iglesia, habitación D9 y bóveda del sector coro de la Iglesia (no presentado en este trabajo), resultan cercanos a los valores de rotura del terreno de fundación dado por los estudios geotécnicos. Esto nos permite generalizar el poco margen de seguridad que tiene el edificio respecto al comportamiento del sistema suelo-estructura, y como consecuencia la aparición de fisuras visualizadas en algunos muros de otras habitaciones.

Por lo tanto se aconseja realizar un seguimiento con el fin de tratar de evitar, en lo posible, cambios en las características físicas del terreno de fundación, ya que estos pueden producir asentamientos diferenciales y como consecuencia fisuras en muros y/o en la estructura superior.

Por otra parte es de esperar que frente a la acción de cargas variables, como los sismos, se produzcan solicitaciones mayores en las fundaciones que puedan superar las tensiones de rotura del suelo, donde las cargas permanentes ya producen tensiones cercanas a la misma.

7. AGRADECIMIENTOS

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