

## **EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO DEL SEMINARIO DIOCESANO DE LA PROVINCIA DE CATAMARCA**

**Rodríguez, C. A. Dip, O. Galíndez, E. E.**

Instituto de Estructuras "Arturo M. Guzmán" U.N.T – Av. Roca 1800 S. M. de Tucumán  
Tel/Fax (54 381) 4364087 - E-mail: sat@unt.edu.ar

### **RESUMEN**

En este trabajo, se presenta la labor y metodología de evaluación estructural realizada en el edificio del Seminario Diocesano de la Provincia de Catamarca, tras la ocurrencia del Sismo del 7 de Septiembre de 2004.

El mencionado edificio, es considerado un importante referente arquitectónico en cuanto a la prolífica obra que realizara el Arquitecto Luis Caravatti a fines del siglo XIX en la provincia de Catamarca.

En virtud de la encomienda realizada por el Obispado de Catamarca, una comisión interdisciplinaria de profesionales y técnicos coordinados por el Instituto de Estructuras, realizó estudios junto a tareas de inspección y relevamiento de daños y patologías existentes en el edificio durante los meses de Diciembre de 2005 y Febrero de 2006

Para la evaluación estructural del edificio, se utilizaron las recomendaciones de la Federal Emergency Management Agency (FEMA), que permiten obtener un índice global de daño de la estructura, mediante la ponderación e interrelación de diversos factores de riesgo.

### **INTRODUCCIÓN**

El terremoto del 7 de Septiembre de 2004 y sus replicas, produjeron daños significativos en numerosas estructuras que se encontraban cercanas al epicentro <sup>(1)</sup>.

En particular, el edificio del Seminario Diocesano de Catamarca, data de fines de la segunda mitad del siglo XIX, fue proyectado y construido por el arquitecto italiano Luis Caravatti, autor también de la Catedral de Catamarca, Casa de Gobierno, Edificio de Tribunales, Paseo de La Alameda, Escuela Normal de Mujeres y del Hospital San Juan Bautista. Su estilo, se asemeja a la de los monasterios de la Edad Media, austero en ornamentación y en luz, mientras que su fachada tiene influencia del estilo Cisterciense-templario. Ver Fotografía 1 y Figura 1

Durante el transcurso de su vida, el edificio ha sido intervenido estructuralmente a través de diversas obras de ampliación y refuncionalización, que fueron modificando significativamente el proyecto original.



Fotografía 1

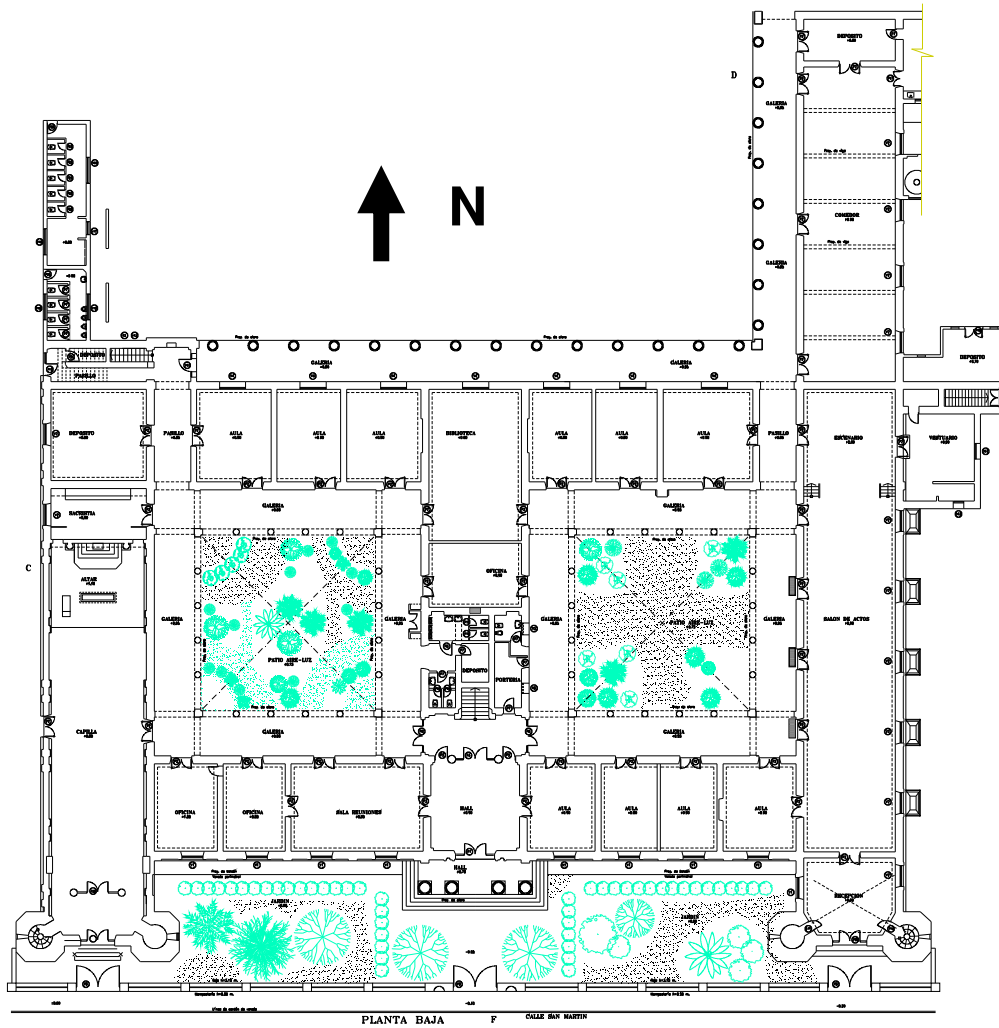


Figura 1

## Breve Reseña Histórica:

La construcción del edificio debe ser necesariamente referida a los condicionantes de aquella época, en la Argentina se encontraba enfrentando las consecuencias del conflicto internacional contra la República del Paraguay, Guerra de la Triple Alianza (1865-1870), tiempos en los que desde el gobierno central se gestaba un nuevo rol para la iglesia en la vida del país, a partir de la necesidad de fortificar un Estado-Nación. Dentro de ese orden de prioridades se diseñó una política tendiente a transferir gradualmente ciertas funciones desempeñadas por la iglesia a distintas ramas del aparato estatal en formación.

En el mes de Mayo de 1876, cuando el santuario de Nuestra Señora del Valle, hoy catedral basílica se encontraba en vías de concluirse, el Vicario Segura tuvo la visión de crear un centro de educación eclesiástica destinado a canalizar vocaciones y formar sacerdotes. Para ello, recurrió al Arquitecto Luis Caravatti, quién habiendo nacido en Milán en el año 1821, había estudiado en la Academia de Arquitectura de Brera y llegado al Uruguay con las tropas de José Garibaldi, participando en la construcción de la Catedral de Montevideo.

La obra demandó un gran sacrificio conseguir los recursos para su ejecución. Cita el Presbítero Olmos en su obra <sup>(2)</sup> “No sólo el escenario político condicionaba la obra sino también una gran sequía asolaba la provincia. Sin embargo el Vicario Segura emprende la obra sin vacilación porque su fe es más grande que las montañas que lo vieron nacer y su filial confianza a la Mama Virgen es ilimitada.”

Toda Catamarca presta cooperación para la concreción de la obra. El gobierno de la provincia promulga una ley concediendo a beneficio del trabajo del Seminario los animales mostrencos. El padre Mamerto Esquiú desde Córdoba, envía en el mes de Enero de 1882 tres cóndores para la obra, junto a una grata nota dirigida al Vicario Segura, en virtud es todos aquellos que contribuían desde dentro y fuera de la provincia la obra fue materializándose lentamente.

La fotografía 2, presenta una vista del Seminario desde el campanario de la Catedral acompañada por el retrato del Vicario José Facundo Segura (1814 -1891).



Fotografía 2

Después de cuatro años de intenso trabajo, el 17 de Diciembre de 1885 se inauguró la Capilla del Seminario con la presencia de la Virgen del Valle trasladada desde su santuario. A principios de 1891, se había edificado la planta baja, la Capilla, todo el frente y la escalera mayor (de madera), se tiene formal conocimiento que el edificio cumplió un importante rol durante las fiestas de Coronación de la Virgen (12 de Abril de 1891) pues dio alojamiento a numerosos sacerdotes, obispos y dignatarios que arribaron a Catamarca.

El edificio del Seminario, fue habilitado el 15 de Abril de 1891 en horas de la tarde, luego que Arzobispo de la Provincia de Buenos Aires Mons. Federico Aneiros le imparte solemnemente la bendición. Finalmente, después de diversas ampliaciones se sucede la creación e inauguración del Seminario Mayor el 4 de marzo de 1912, con una misa celebrada en el camarín de la Virgen del Valle. Prácticamente en este año, el gran edificio estaba terminado en su estructura fundamental.

### **Descripción del edificio**

La edificación, se desarrolla en su mayor parte en dos niveles, a excepción del ala Este, donde cabe destacar la presencia de una cripta, cuyas dimensiones son 41,33 metros de largo por 6,50 metros de ancho y con una altura de 5,20 metros, medida desde el piso hasta el intradós de la bóveda de mampostería que compone su techo.

El Seminario, abre su frente sobre calle San Martín con una imponente fachada de aproximadamente 71,36 metros de longitud por 15,89 metros de altura, en la que se destacan la presencia de cuatro torres de 26,19 metros de altura. En el centro de la fachada, se encuentra el acceso principal al edificio, enmarcado por cuatro columnas que sostienen la terraza del frontis, que se continúa lateralmente hacia ambos lados a través de un balcón que la recorre en planta alta, sobre el que se abren todos los locales del Sur del nivel superior. Al Oeste de la fachada, se ubica la puerta de acceso a la Capilla, y al Este, guardando cierta simetría, la puerta de acceso a la Recepción del Salón de Actos. Ver Fotografía 3. En Planta Baja, pueden observarse las ocho ventanas de los locales orientados al Sur y a modo de coronamiento, ocupando el centro de la fachada por encima de la Planta Alta, se ubica un mirador que remata la cúpula del local central y que ofrece una vista panorámica de las inmediaciones del edificio.



**Fotografía 3**

Ya en su interior, la distribución arquitectónica del edificio en planta baja, se desarrolla a partir de dos patios de aproximadamente 174 metros cuadrados de superficie, ubicados al Este y Oeste de la zona central del mismo. Alrededor de éstos, se disponen los claustros de 3,50 metros de ancho. Dichas galerías, reciben la apertura de todos los locales ubicados en el piso inferior. Al Oeste, se emplaza la Capilla, de 30,31 metros de largo por 7,45 de ancho, desarrollada en doble altura, coronada por una bóveda de cañón corrido de mampostería. Al Este, se ubica el Salón de Actos desarrollado completamente sobre el subsuelo, mientras que al Norte, los locales abren sus ventanas hacia una galería que circunda los lados Sur y Este de un patio de 50,84 metros de largo por 22,07 metros de ancho, situado en los fondos de la edificación. Ingresando por la puerta principal y atravesando el hall de entrada, se encuentra la escalera imperial que conduce a la Planta Alta, la misma converge en un hall de distribución, que sirve de acceso al local central del Ala Sur de dicha planta y lateralmente se comunica con dos galerías cerradas desarrolladas encima de los claustros que enmarcan el sector Sur de los patios de Planta Baja. En Planta Alta, la cubierta de los otros sectores de los claustros, se encuentra abierta a modo de terraza de circulación para acceso a los locales que la circundan. Ver Fotografías 4 y 5

Desde el punto de vista estructural, la edificación se desarrolla a través de planos verticales de mampostería con continuidad en ambas plantas. Estos planos, se vinculan entre sí través de muros transversales que sirven de división para los locales. Según la dirección Este-Oeste, se distinguen cuatro planos estructurales, interrumpidos al Este por la Capilla y al Oeste por el Salón de Actos. De estos cuatro planos, el plano sur arranca con un espesor de 73 centímetros hasta una altura de 1,40 metros y continúa con un espesor de 60 centímetros hasta completar su altura. Los tres planos restantes, presentan un espesor de 60 centímetros en todo su desarrollo vertical.

El muro Sur de la Capilla y el de la Recepción del Salón de Actos, se encuentran fuera del primer plano, desplazados 6,50 metros hacia el Sur y tienen un espesor de 85 centímetros en planta baja y de 70 centímetros en planta alta. Según la dirección Norte-Sur, se distinguen seis planos resistentes, cinco de los cuales tienen 60 centímetros de espesor en toda su altura, a diferencia del plano que limita la Capilla por el lado Oeste, que arranca con un espesor de 80 centímetros hasta una altura de aproximadamente 90 centímetros, a partir de la cual disminuye su espesor a 45 centímetros.



**Fotografías 4 y 5**

Los muros transversales a los planos resistentes, que generan los locales habitables, tienen un espesor de 45 centímetros. Las Torres se levantan con forma circular en su interior y hacia el exterior ofrecen una forma semejante a un cuadrado con ángulos truncados por ochavas. Los espesores de los muros son variables ya que van desde los 95 centímetros en planta baja hasta disminuir a 80 centímetros a partir de la Planta Alta. Todos los dinteles de puertas y ventanas están contruidos completamente en mampostería de ladrillos colocados a sardinel formando arcos muy rebajados.

Los claustros, limitan con sus respectivos patios a través de arcos de mampostería apoyados en columnas circulares de idéntico material, a excepción de las esquinas, cuyos encuentros están materializados por columnas con forma de L. Estos arcos en conjunto conforman un sistema aporricado que sirve de apoyo a los tirantes de madera que constituyen la estructura de sostén de las cubiertas de las galerías, sobre los cuales se apoyan los tirantillos que reciben las tejuelas y sobre éstas el contrapiso del solado de la cubierta.

Los cielorrasos de planta baja, están contruidos por bóvedas de mampostería de aproximadamente 30 centímetros de espesor, al igual que el techo de la Capilla. Los muros de sostén de dichas bóvedas, se encuentran vinculados por tirantes metálicos de sección circular. En Planta Alta, se distinguen dos tipos de pisos. La mayoría de los locales presenta pisos de mosaicos calcáreos, cuya estructura de sostén está contruida por perfiles doble T y bovedillas formadas por ladrillos, sobre los que se coloca un contrapiso de asiento para los mosaicos. Los perfiles apoyan en sus extremos, sobre los muros laterales, y en su parte central, sobre la clave de las bóvedas de mampostería que constituyen el cielorraso de los locales de Planta Baja.

Algunos locales disponen de pisos de madera, cuya estructura de sostén está contruida por vigas longitudinales de igual material, que descansan sobre pilares de mampostería apoyados sobre las bóvedas y tirantes transversales que vierten su carga sobre las vigas antes citadas. Estos tirantes reciben el machihembrado de madera que materializa el piso propiamente dicho. Los tirantes a su vez reciben la colaboración de puntales de madera apoyados sobre la bóveda de mampostería. Ver Fotografía 6.



**Fotografía 6**

Todos los Locales de Planta Alta, a excepción del local central del Ala Sur, poseen cubierta metálica, apoyada sobre cabriadas de perfiles metálicos que a su vez descansan sobre una viga de hormigón armado perimetral. Los cielorrasos de este nivel, son del tipo suspendido y están conformados por paneles livianos sobre una armazón de aluminio reforzada por tensores de alambres. Es de importancia resaltar, las modificaciones de la tipología estructural realizadas en la zona Norte del Ala Este del edificio, aproximadamente a fines de los años noventa.

Esta zona abarca en Planta Baja el comedor, y en Planta Alta un Dormitorio y el grupo sanitario. En este sector, el solado de Planta Alta se reemplazó por una losa de hormigón armado apoyada en vigas de idéntico material, que descansan sobre columnas moldeadas dentro de los muros de mampostería laterales. También, se puede apreciar el refuerzo de los dinteles de mampostería de las ventanas del muro este, a través de la inserción de dinteles de hormigón armado por debajo de los mampuestos colocados a sardinel. De esa misma época, data la sustitución de la totalidad de la cubierta de planta alta, por la cubierta metálica actual.

## **Metodología Empleada**

A fin de poder realizar un diagnóstico adecuado sobre el estado estructural del edificio del Seminario Diocesano Menor y en base a recomendaciones de instituciones nacionales e internacionales (Instituto Nacional de Prevención Sísmica, (INPRES), Federal Emergency Management Agency, (FEMA) y Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (AIS) entre otras, se propuso llevar a cabo en una primera etapa el siguiente plan de tareas <sup>(2)</sup>:

- Recopilación de documentación histórica y técnica disponible.
- Relevamiento geométrico detallado y confección de planos de arquitectura.
- Relevamiento de elementos estructurales y no estructurales.
- Relevamiento de daños originados por la acción sísmica y otras patologías presentes en la edificación.
- Estudio de giros y deformaciones en el edificio. Relevamiento planialtimétrico de precisión.
- Caracterización de la tipología de cimentación en relación a las características del suelo de fundación.
- Determinación de las características técnicas de los materiales que conforman la estructura.
- Evaluación del índice de daño global del edificio

## **Ensayos Realizados**

A fin de caracterizar los materiales con los que se encuentra construido el edificio del Seminario Diocesano y su estado de conservación, se procedió a realizar ventanas de inspección sobre muros de mampostería (elementos estructurales) ubicados en planta baja sobre el sector este del edificio. A través de las mismas, se realizaron mediciones de los mampuestos y juntas de mortero. Se inspeccionó además, la disposición de los mampuestos en los muros y la configuración de la traba en sectores de encuentro de muros. Respecto a los mampuestos con los que se encuentran edificados los muros, arcos, bóvedas y dinteles del Seminario, se ha podido constatar que los mismos, poseen dimensiones superiores a la de aquellos que se utilizan en la actualidad.

En principio, puede afirmarse que el material tipo es un ladrillo cerámico macizo de muy buena cocción y resistencia, cuyas dimensiones son aproximadamente cuarenta centímetros

de largo por seis centímetros de alto y diecisiete centímetros de ancho. No obstante ello, existe evidencia de que al pasar el tiempo e ir agregándose nuevas dependencias al edificio, se utilizaron en la construcción otros mampuestos de diferente tamaño. Adicionalmente, mediante la utilización de un esclerómetro se verificó la homogeneidad y monolitismo de los sectores de muros inspeccionados, tal como se muestra en la imagen de la derecha. Paralelamente, se procedió a constatar los elementos estructurales tipo dintel sobre las aberturas, ya que los mismos presentan daños con elevada frecuencia según el relevamiento de patologías realizada en el edificio. Ver Fotografía 7

Se seleccionaron seis sitios en muros pertenecientes al nivel de planta baja a saber, tres sobre el primer plano resistente orientado en sentido Este – Oeste (corresponde a la fachada del edificio) y tres en el último plano resistente orientado en sentido Norte – Sur (corresponde al muro lateral Este de la edificación) en donde se procedió a la extracción de testigos de mampostería, utilizando un equipamiento provisto de una corona diamantada de 10 cm de diámetro, cuidando de centrar el dispositivo de corte sobre la intersección de una junta vertical con otra horizontal. Ver Fotografía 8

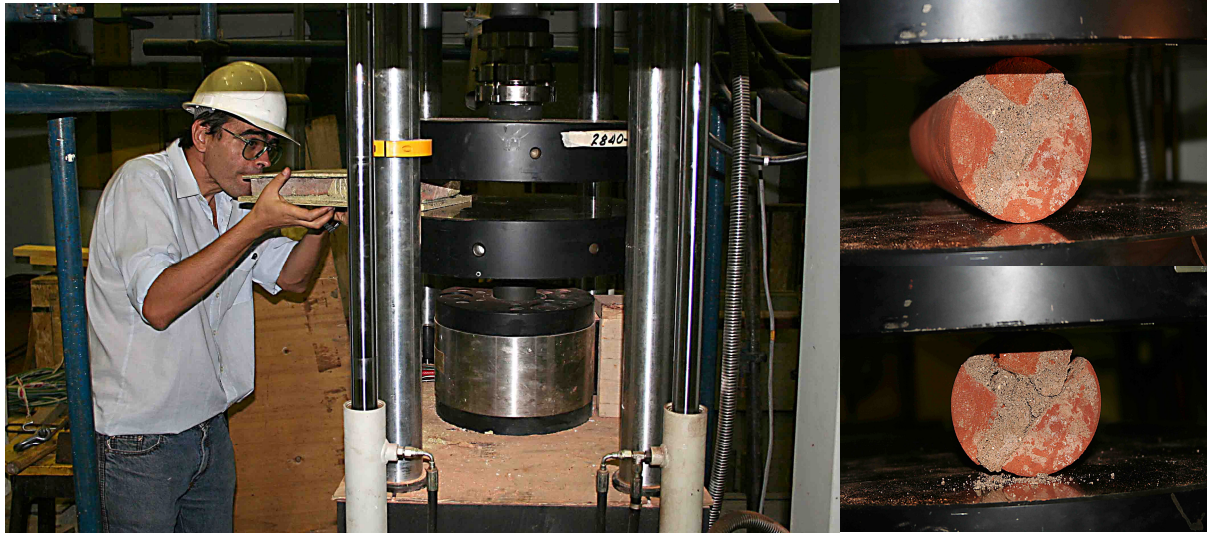


**Fotografías 7 y 8**

Una vez extraídas las mismas se procede a identificarlas y a protegerlas debidamente pues deben ser conducidas al Laboratorio de Estructuras, donde serán ensayadas. En forma complementaria a los testigos cilíndricos obtenidos mediante corte y extracción, se recogieron ejemplares de mampuestos que habían sido retirados de la estructura durante la última intervención estructural en el edificio, los cuales fueron maquinados y encabezados con azufre a fin de garantizar una superficie de contacto homogénea entre el plato de la prensa y el mampuesto propiamente dicho. Una vez ensayados los mampuestos, se procedió a ensayar los testigos cilíndricos, cuya ubicación en la prensa debe ser tal que la junta de mortero forme una inclinación a  $45^{\circ}$  respecto del eje de aplicación de la carga. En las Fotografía 9 se observa un espécimen listo para ser ensayados en un Equipo Servo Hidráulico Marca Instron, Modelo 8504 para aplicación de cargas estáticas y dinámicas que el Instituto de Estructuras posee en su Laboratorio. Mientras que las fotografías 10 y 11 muestra la disposición de aplicación de cargas, como así también su configuración de rotura tras ser sometida al ensayo.

Es de hacer notar, que solamente se pudieron ensayar cuatro probetas de los seis testigos extraídos ya que dos de ellas se desarmaron por pérdida del material ligante de la junta entre los mampuestos a causa del agua de refrigeración necesaria en el proceso de

extracción. Se desea resaltar que el estado del mortero ligante, en base a su composición y a su edad se encuentra debilitado y en algunos casos se constató que se deshace con solo tocarlo.



**Fotografías 9, 10 y 11**

## **Estudio de Suelos y Cimentaciones**

El objetivo del presente estudio, es determinar la capacidad de carga del suelo existente sobre el que apoya la estructura del Edificio y estimar el grado de seguridad que ofrece el Sistema de Cimentación empleado. En tal sentido, se realizaron cuatro calicatas de exploración a fin de identificar el tipo de cimentaciones presentes, como así también de la cota de sustentación de las mismas. Simultáneamente con los trabajos de excavación, y con el propósito de conocer el grado de consolidación que exhibe el subsuelo, se realizaron Ensayos de Penetración Standard (SPT) cada metro de avance en profundidad en tres pozos que a su vez permitieron la elaboración de Perfiles Edafológicos. Los resultados de estos estudios indican la presencia de un suelo TIPO II-b, de acuerdo a la Tabla 3: "Clasificación de los Suelos de Fundación Dinámicamente Estables" de la Normas Argentinas para las Construcciones Sismorresistentes INPRES-CIRSOC 103. A saber: "Suelos de características intermedias con profundidad de manto mayor que 8m (por ejemplo: suelos granulares medianamente densos; suelos cohesivos de consistencia dura con cohesión entre 0,07 y 0,20 MN/m<sup>2</sup>).

Los muros portantes del edificio se encuentran fundados por medio de cimientos que apoyan en el estrato resistente de suelo grueso a 5,80m de profundidad. Los mismos están compuestos de la siguiente manera: hasta más o menos un metro de profundidad resultan ser una prolongación de los muros que sustentan, a partir de esa profundidad el cimiento está constituido por piedras bolas y piedras lajas aglutinadas por suelo fino (limo arcilloso). La capacidad de carga del suelo relativa a estas fundaciones, teniendo en cuenta que las mismas se encuentran sustentadas sobre un importante estrato de suelo granular grueso, puede establecerse con seguridad mediante correlaciones a partir de los resultados de los ensayos de penetración practicados. Por otro lado y tomando como referencia además, el Código de Práctica Británico CP 2004, la Tensión Admisibile que condiciona el suelo existente a Cimentaciones Superficiales se fija con seguridad en:  $s_s.Adm = 3,00 \text{ kg/cm}^2$

Durante los trabajos de excavación de los Pozos Exploratorios se llevó a cabo una minuciosa inspección ocular a fin de detectar anomalías provocadas por asentamientos del Edificio. En tal sentido, se informa que en general no se observaron patologías de consideración debidas a Asentamientos de Consolidación por efectos de las cargas sobre el subsuelo. No obstante ello, cabe destacar que el estrato superior compuesto por limos con arenas finas, es muy susceptible a la presencia de agua, en efecto, fugas de tuberías soterradas o agua de lluvia que sature el suelo por infiltración, pueden generar arrastres de suelos y disminución de sus propiedades mecánicas, manifestándose asentamientos con la consecuente figuración o agrietamiento de pisos y muros secundarios.

### **Estudios de Giros y Deformaciones**

Con el objeto de cuantificar posibles movimientos verticales en puntos críticos del edificio, se diseñó en primera instancia una red de puntos fijos de nivel con una calidad del orden del milímetro, apoyada en puntos de mejor calidad sobre cordón vereda de las calles adyacentes. Se colocaron ochenta puntos de control en distintos sectores de la edificación, considerados como críticos para el estudio que se lleva a cabo. Se realizaron diversas nivelaciones de precisión durante unos períodos de siete meses no registrándose variaciones de los mismos dentro de la precisión de la nivelación (0,5 mm). El equipamiento utilizado fue un Nivel Automático Pentax Modelo AL 320 con Micrómetro de placa Pentax modelo SM4. Ver Fotografía 12.

### **Control de Verticalidad de las Torres del Seminario Diocesano de Catamarca**

A los efectos de determinar la existencia de falta de verticalidad, inclinación o giro de las Torres del Seminario, se realizaron series de mediciones mediante la utilización de una estación total marca Marca Pentax Modelo R-315NX Modo dual, puntero láser visible y enfoque automático. Realizados los estudios, puede concluirse que las mayores diferencias de distancias fueron detectadas en las mediciones de las estaciones en la Torre 1, las que a pesar de superar el rango de  $\pm 5\text{mm}$ , no indican una inclinación del eje vertical de la Torre 1, sino una serie de pequeñas deformaciones en la caras relevadas probablemente originadas por variaciones del espesor del revoque en las paredes de dicha torre. Dentro de este rango ( $\pm 5\text{mm}$ ), en las otras torres no se detectaron desviaciones de las distancias medidas a las caras estudiadas. Ver Fotografía 13.



**Fotografías 12 y 13**

## Relevamiento y Tipificación de Patologías presentes

Tras llevarse a cabo un detallado relevamiento estructural del edificio, fue posible constatar la presencia de diversas patologías que afectan a los elementos estructurales, como así también se identificaron otras que deben considerarse como no estructurales, pero que su presencia conlleva riesgo sobre los posibles ocupantes. Las diversas patologías se detallan seguidamente:

- Tipo 1: Fisuras Inclinadas a 45° sobre muros estructurales.
- Tipo 2: Agrietamiento y Fisuración de dinteles sobre aberturas.
- Tipo 3: Agrietamiento y Fisuración de Bóvedas de mampostería.
- Tipo 4: Fisuración de bóveda de mampostería por flexión.
- Tipo 5: Agrietamiento y Fisuración de Arcos de mampostería.
- Tipo 6: Agrietamiento y Fisuración en las Torres.
- Tipo 7: Descalzamiento de Vigas y Tirantes de Madera.
- Tipo 8: Agrietamiento en encuentros de Muros con Cubiertas.
- Tipo 9: Agrietamiento en encuentros de Muros
- Tipo 10: Daños en Elementos de Cubierta Metálica y de bovedillas de mamposterías
- Tipo 11: Daño por discontinuidad de Muros
- Tipo 12: Estado del mortero de cal y Arena
- Tipo 13: Daños ocasionados por Intervenciones estructurales
- Tipo 14: Estado de la Cubierta metálica exterior
- Tipo 15: Infiltraciones originadas por escurrimiento Pluvial
- Tipo 16: Humedad en Muros por Ascenso Higroscópico
- Tipo 17: Humedad en Muros por Infiltración de la Cisterna del Edificio.
- Tipo 18: Daños en revoque por corrosión de Cañerías de servicios.
- Tipo 19: Estado de las Cornisas, Molduras y parapetos
- Tipo 20: Rotura de elementos no estructurales varios

En la fotografía 14, se ha realizado una composición de diversas patologías relevadas en el interior del edificio, con el fin de mostrar la magnitud de los daños ocasionados por la acción sísmica del 7 de Setiembre de 2004 y de sus replicas.



Fotografía 14

Los resultados del relevamiento patológico fueron volcados en planillas de locales y posteriormente se realizaron planos de patología de planta y corte. En la Figura 2 se muestra a modo de ejemplo, la planilla de locales de la capilla del seminario. Como elemento complementario se realizó un maqueta electrónica del edificio, que permite realizar una interpretación sistémica del registro de las patologías obtenidas.

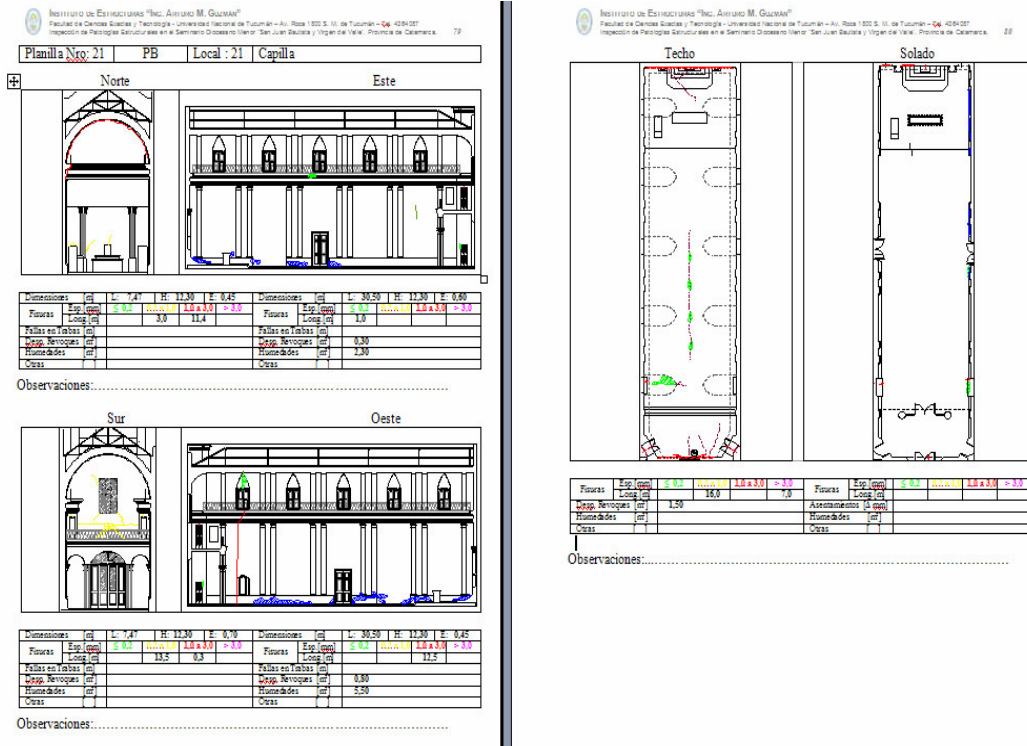


Figura 2

Seguidamente, en la Figura 3 se muestra el registro de patologías en el nivel de planta baja y en algunos cortes del edificio del Seminario Diocesano de Catamarca.

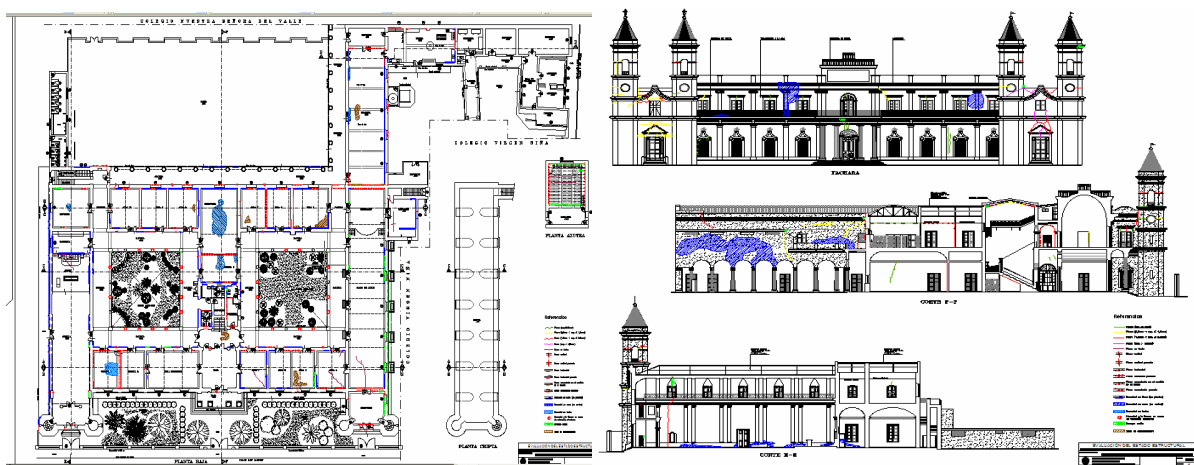


Figura 3

## **Modelo Computacional para Análisis Estructural**

A pesar de los avances realizados en los últimos años en las técnicas de análisis estructural, la preparación de modelos analíticos para estructuras de este tipo presenta algunas dificultades<sup>(4)</sup>. La geometría es más compleja que en las estructuras aperturadas modernas, y en muchos casos se hace difícil distinguir entre los elementos con carácter estructural y los meramente decorativos. No siempre es posible obtener muestras inalteradas de los materiales componentes, y por lo tanto la información de las características mecánicas de los mismos es imperfecta o escasa.

La complejidad geométrica, hace necesario realizar simplificaciones y en general los procedimientos tradicionales de análisis lineal se transforman en una herramienta que sólo nos permite tener una idea aproximada del estado de esfuerzos debido a cargas gravitacionales. Para acciones sísmicas, el objetivo radica en lograr una comprensión cualitativa del comportamiento de la estructura, que ayuda al evaluador a detectar zonas o elementos estructurales vulnerables.

### **Modelación del Edificio**

Si bien la elaboración de un modelo numérico lineal para este tipo de edificios sometido a acciones sísmicas es costosa en tiempo y en recursos, puede afirmarse que el mismo constituye una herramienta de suma utilidad pues permite identificar la causalidad de los daños que fueron observados durante la inspección de la estructura. Lo cual, permite a su vez proyectar intervenciones estructurales adecuadas y analizar la eficiencia de las mismas a través de la evaluación del comportamiento de la estructura reforzada.

En este caso, se realizó un modelo tridimensional del edificio utilizando el programa SAP2000 Versión 10.0.7<sup>(5)</sup>. Los muros y bóvedas se modelaron en correspondencia con sus planos medios, utilizando elementos rectangulares planos de cuatro nodos (shell), que conjugan el comportamiento flexional y membranal simultáneamente. Como excepción y sólo como transición entre diferentes densidades de mallado, se utilizaron elementos planos triangulares.

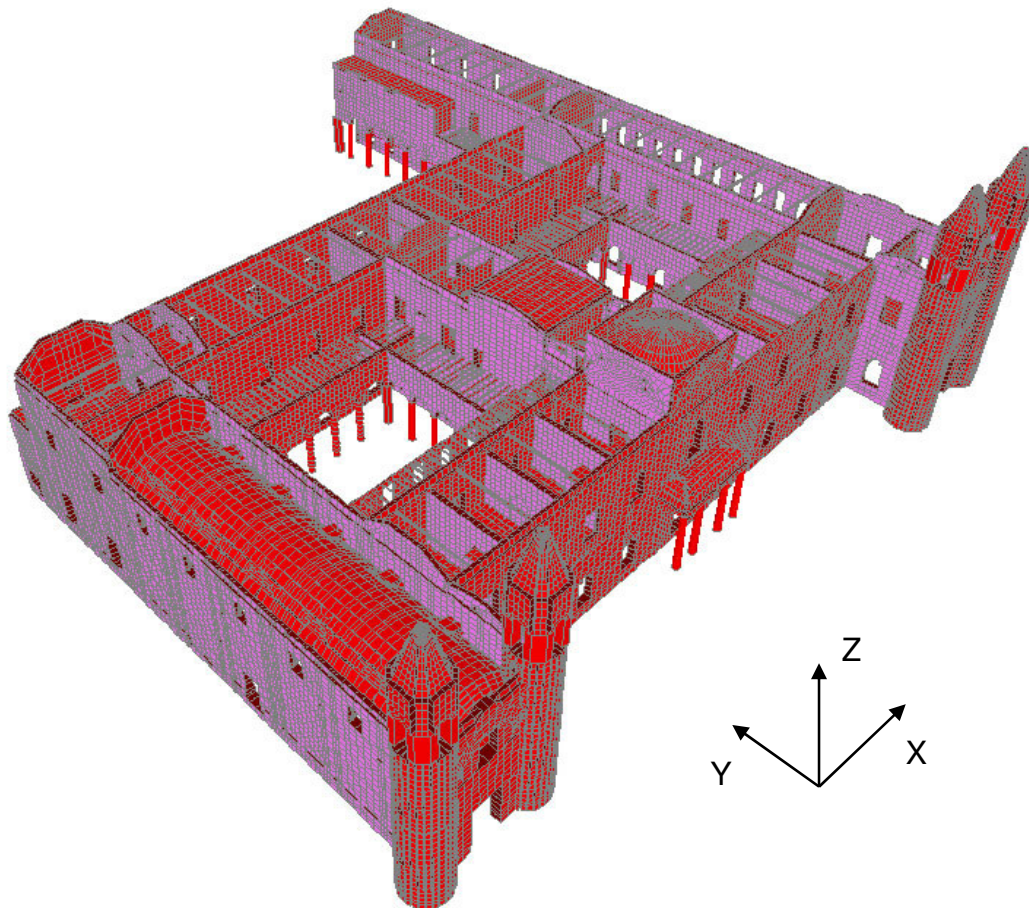
Las columnas se modelaron en correspondencia con sus ejes longitudinales utilizando elementos de barras de dos nodos (frame), y según su constitución se asignó el material correspondiente. Los solados constituidos por perfiles metálicos y bovedillas de ladrillos cerámicos macizos, se modelaron en correspondencia con sus planos medios, combinando elementos de barra en representación de los perfiles metálicos, con elementos rectangulares planos en representación de las bovedillas de ladrillos. Los solados de madera machihembrada no se modelaron como elementos; se los tuvo en cuenta solamente como cargas para el análisis gravitacional y como masas para el análisis dinámico.

Los tirantes de madera se modelaron en correspondencia con sus ejes longitudinales utilizando elementos de barra de dos nodos. Los solados constituidos por tirantes de madera, tirantillos, tejuelas, contrapisos y baldosas, se modelaron en correspondencia con sus planos medios, representando los tirantes a través de elementos de barras sobre los que se colocaron como carga el peso correspondiente al resto de los componentes.

Los tensores de acero que vinculan los arranques de arcos y bóvedas se modelaron con elementos de barra. Las intersecciones entre elementos en las que no había correspondencia espacial entre sus ejes, se materializaron utilizando restricciones de cuerpo rígido (Constraints Body). Para confeccionar el modelo numérico computacional se

emplearon en total 59.788 elementos de cáscaras (shell), 4.899 elementos de barra (frame), resultando un modelo con 59.788 nodos y 348.063 grados de libertad.

La Figura 3 muestra el modelo de elementos finitos completo, donde la dirección positiva del Eje X señala hacia el punto cardinal Este y la dirección positiva del eje Y hacia el Norte. Se definieron 4 tipos de materiales, hormigón, mampostería, acero y madera con la simplificación de considerarlos isótropos y lineales.



**Figura 3**

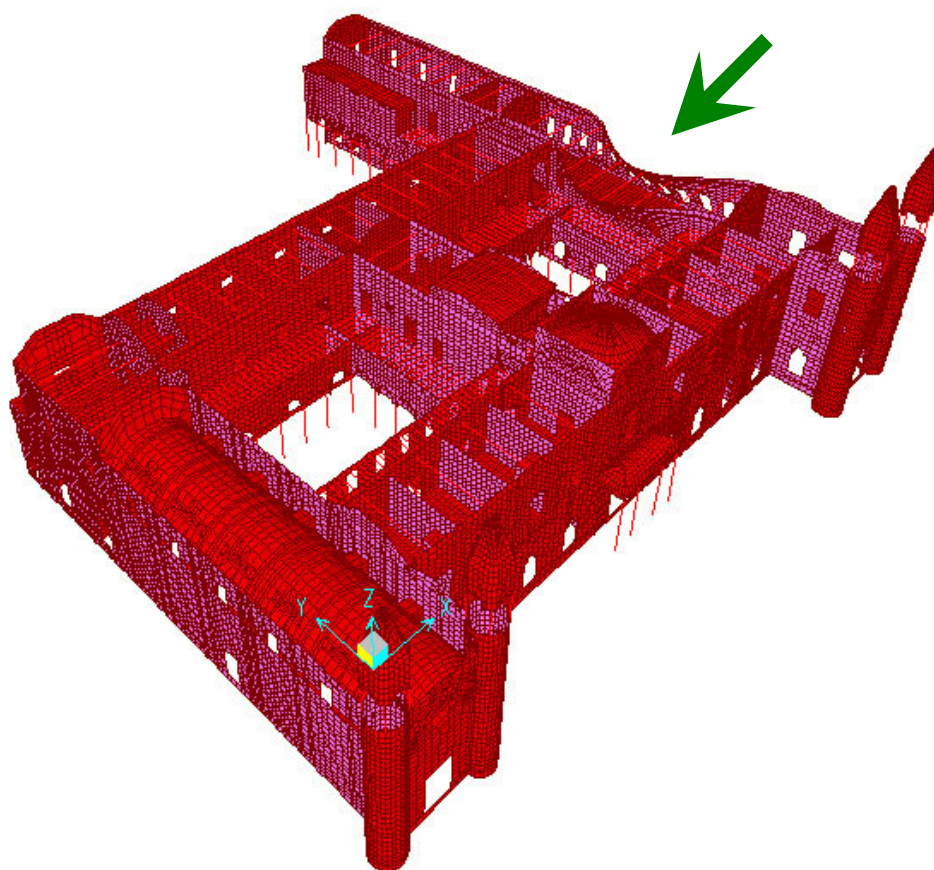
Tratándose de una estructura muy compleja, puesto que combina distintos elementos y componentes estructurales, como ser muros portantes con aberturas, bóvedas, zonas con entrepisos con diafragmas semirígidos, diafragmas flexibles, elementos en arcos, cúpulas, torres, intersecciones de superficies de doble curvatura, etc., los resultados del análisis numérico computacional deben interpretarse con cierta cautela.

De los resultados obtenidos se puede concluir que: dada la complejidad de los distintos modos de vibrar de la estructura, no se pueden obtener modos globales de vibración, sino que los mismos corresponden a formas aisladas de sectores o componentes estructurales como se pudieron apreciar en los casos de los Modos 1 y 2 (flexión de muros de gran

longitud con aberturas), Modos 3 y 5 (Vibración de Torres) y Modo 18 (flexión lateral de la nave de la capilla).

A modo de ejemplo se analiza la primera forma modal, como se aprecia en la Figura 4, corresponde a un modo de flexión según la dirección Este-Oeste, de los muros que limitan un salón en planta alta del ala Este del edificio. En la figura se resalta la ubicación del mismo mediante la utilización de una flecha de color verde. El período de dicha forma modal es de 0,368 segundos, por lo que puede resaltarse que se encuentra dentro del segmento de períodos que definen el plafón del espectro de pseudoaceleraciones correspondiente a la zona sísmica y al tipo de suelo en que se emplaza el edificio según la normativa vigente.

Es importante hacer notar, que se trata de un modo localizado, que deja al descubierto una zona crítica del edificio, dormitorio de seminaristas, ya que el muro en cuestión posee una longitud libre de 28 metros, una altura de 5,60 metros, debilitado por un alto número de aberturas y sin presencia de muros transversales en dicho tramo.



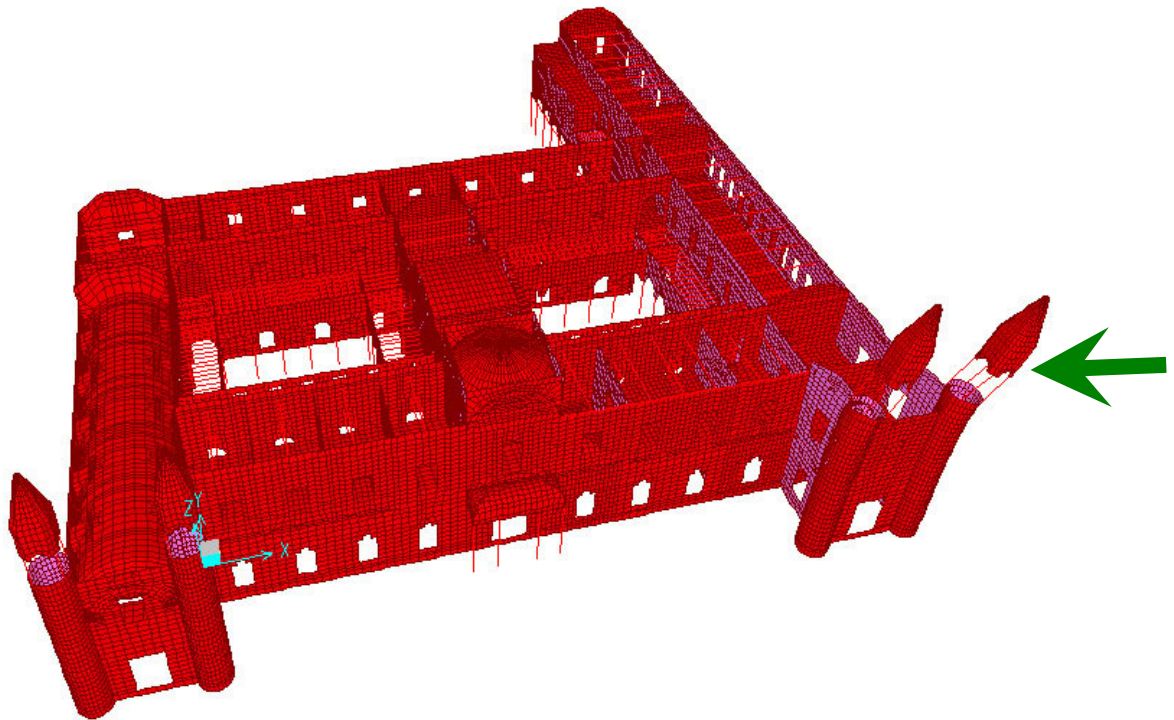
**Figura 4**

Esta deficiencia estructural, expuesta claramente por los resultados del análisis, se correlaciona perfectamente con los daños observados en correspondencia con dichos muros durante el sismo del 4 de septiembre de 2004, cuya direccionalidad coincidió con la del modo analizado. En la fotografía 15, se resaltan las fisuras producidas en este muro, a nivel de antepechos y dinteles en la mampostería entre aberturas.

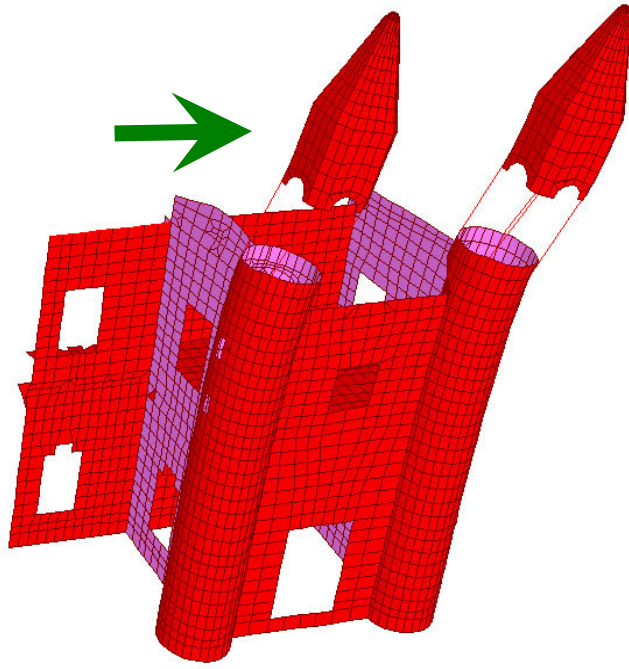


**Fotografía 15**

Un segundo ejemplo a mostrar lo constituye la tercera forma modal del edificio, con un período de 0,342 segundos, corresponde a la oscilación en dirección Este-Oeste de las torres del lado Este de la fachada. La Figura 5 muestra una vista completa del edificio bajo este modo de vibración. En la Fotografía 16 se puede apreciar que se trata de un modo de flexión de ambas torres, y se correlaciona perfectamente con el daño producido en las mismas y en el muro que las vincula como se puede ver en la Fotografía 14.



**Figura 5**



**Figura 6 y Fotografía 16**



**Fotografía 17**

Asimismo, teniendo en cuenta que a pesar del elevado número de formas modales consideradas en el análisis (más de 100), queda un alto porcentaje de la masa total sin

participar, razón por la cual se considera que no sería adecuado utilizar un análisis dinámico lineal del edificio completo para la determinación de los esfuerzos.

Lo recomendable en este caso realizar el análisis completo en forma aislada, en aquellas zonas identificadas como vulnerables frente a la acción sísmica combinando estados de cargas gravitatorias y dinámicos lo cual permite obtener resultados más confiables en términos de esfuerzos sobre los elementos estructurales.

### **Evaluación Estructural:**

Una vez procesados todos los datos recogidos en el sitio se procedió a utilizar las recomendaciones de la Federal Emergency Management Agency (FEMA) a fin de elaborar un diagnóstico del estado estructural del edificio mediante la obtención del índice de daño de la estructura en base a la ponderación e interrelación de diversos factores de riesgo.

La mencionada metodología se inicia realizando en primer lugar una ponderación de la estabilidad global de la estructura, de acuerdo a los datos recogidos en la inspección del edificio. Seguidamente se debe evaluar y ponderar también posibles problemas de naturaleza geotécnica en el emplazamiento del edificio. A continuación corresponde analizar y ponderar el estado de daño en elementos estructurales que por tratarse de una edificación cuyo sistema estructural está compuesto preferentemente por mampostería no reforzada asentada en mortero de cal y arena, con entresijos con sectores con bóvedas de mampostería, sectores con entresijos de perfiles metálicos y bovedillas cerámicas y sectores con losa de hormigón armado, se recomienda analizar el estado de los muros portantes, las uniones entre muros y el estado de entresijos. Luego de ello, se debe valorar el riesgo que aportan el estado y disposición de los elementos no estructurales presentes en el edificio y finalmente debe considerarse la interrelación de estos factores en una matriz de riesgo que lleva aparejado la recomendación de habitabilidad de la edificación.

Para el caso del edificio del Seminario Diocesano de Catamarca, la aplicación de la metodología antes descrita, permitió recomendar que el mismo continúe inhabitable y que de acuerdo a los valores obtenidos en las evaluaciones de elementos estructurales y no estructurales es posible afirmar que éste posee un porcentaje global de daño ocasionado por la acción sísmica que se ubica entre el 30 al 50 % de su estructura, con una intensidad del daño dentro de la franja de moderado a fuerte, aunque existen sectores donde puntualmente el daño es severo.

Finalmente se presentan los tres parámetros que resumen la metodología de evaluación de riesgos para el edificio:

- Riesgo de Estabilidad Global: Bajo
- Riesgo Estructural del Edificio: Moderado
- Riesgo No Estructural: Bajo toda vez que se adopten medidas correctivas.

### **Conclusiones**

Se encuentra documentado que las acciones sísmicas han generado numerosos daños en templos y catedrales de la región Noroeste de la República Argentina a través de los años. Es por ello que, toda vez que se analiza un edificio de esta tipología (sin previsiones sismorresistentes, materiales heterogéneos, diversidad de técnicas constructivas, etc.), <sup>(6)</sup> <sup>(7)</sup> es preciso realizar estudios que permitan evaluar su

comportamiento global como así también de aquellas zonas que se identifiquen como críticas.

En este trabajo se ha presentado en forma sucinta la metodología de relevamiento, estudios interdisciplinarios y procesamiento de los datos obtenidos, a fin de realizar la evaluación estructural de un edificio de alto valor patrimonial arquitectónico religioso.

Como conclusión de los mismos, fue posible realizar un diagnóstico en base a datos cuantitativos que permite afirmar que se considera que el edificio del Seminario Diocesano Menor de Catamarca, puede recuperarse estructural y funcionalmente, después de que se realicen medidas de intervención adecuadas a la solución de las causas de patologías que se presentan.

Al momento de realizar este trabajo, se consensúa con el comitente un plan de intervenciones estructurales y no estructurales destinadas a su rehabilitación y refuerzo.

### **Referencias Bibliográficas**

- (1) Poder Ejecutivo Nacional. "Informe sobre el Relevamiento de Daños en Escuelas, Hospitales y Templos Producidos por el Terremoto de Catamarca del 7 de Septiembre de 2004". Octubre de 2004.
- (2) Pbro. Olmos R. R. Reseña Histórica del Seminario de Catamarca, Editorial La Raza. Año 1941.
- (3) Rodríguez C. A. y otros. Informe Técnico: Evaluación del Estado Estructural del Edificio del Seminario Diocesano Menor "San Juan Bautista y Nuestra Señora del Valle", sito en la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, Instituto de Estructuras. UNT. Marzo de 2006.
- (4) Olarte, J. y otros. "Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de la Catedral del Cusco". Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería de Perú. Diciembre de 2004.
- (5) SI, Computers & Structures INC. SAP 2000 "Integrated Software for Structural Analysis and Design", Getting Started, Basic Analysis Reference, Introductory Tutorial. Berkeley, California, USA, Version 10. Septiembre de 2005.
- (6) Rodríguez, C. A. y otros, "Evaluación de daños en edificios históricos, el sismo del 7/9/04 en la provincia de Catamarca" en: IV Jornada sobre Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio, LEMIT, La Plata, Junio de 2005.
- (7) Rodríguez, C. A. y otros "Principales patologías estructurales en templos y monumentos históricos del Noroeste argentino" en, VIII Congreso Latinoamericano de Patología Estructural, y X Congreso de Control de Calidad en la Construcción, Asunción del Paraguay, Paraguay, Septiembre de 2005.