



Puesta en valor de una escuela patrimonial en zona de alto riesgo sísmico: un caso de estudio

N. Maldonado¹, P. Martín¹, I. Maldonado¹, F. Calderón^{1,2}

¹ CeReDeTeC, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional.

² Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, CeReDeTeC Facultad Regional Mendoza Universidad Tecnológica Nacional

Información del artículo

DOI:

<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v4i2.66>

Artículo recibido el 12 de febrero de 2014, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 02 de mayo de 2014. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el primer número del año 2015 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del tercer número del año 2014.

RESUMEN

La Escuela Mitre es un edificio educacional monumental, habilitado en 1906, de mampostería cerámica cocida sin encadenar. Durante su vida útil ha sufrido daños debido a los terremotos impulsivos de Mendoza, Argentina, a los cambios en los materiales y a la falta de mantenimiento. La metodología de estudio ha incluido las siguientes etapas: una inspección detallada, las decisiones de emergencia, el análisis de las condiciones de conservación del edificio, el diagnóstico y las alternativas de rehabilitación. Con los datos de campo y de laboratorio, se ha modelado el edificio mediante elementos finitos. Las ventajas del uso del hormigón en la rehabilitación es lograr el menor costo y el mejor desempeño estructural de acuerdo con las normas de rehabilitación vigentes, pero desde el punto de vista patrimonial, se ha preferido la combinación de estructuras de acero que no interfieren con la fábrica original y la rehabilitación de fundaciones con hormigón armado.

Palabras clave: patrimonio; seguridad; sismorresistente; puesta en valor.

ABSTRACT

The Mitre School is a monumental building enabled in 1906 using fired ceramic masonry without tie-reinforcement. During its service life it has suffered damages from impulsive earthquakes in Mendoza, Argentina, as well as from changes in the materials and lack of maintenance. The methodology of study included the following stages: a detailed inspection, emergency decisions, analysis of conservation state of the building, as well as the diagnosis and rehabilitation alternatives. With the data from the field and laboratory tests, the building was modeled by using finite elements. The advantages of the use of concrete in the rehabilitation include the lowest cost and the best structural performance according to rehabilitation standards in force; nonetheless, from the standpoint of heritage, the combination of steel structures, that do not interfere with the original factory, and the rehabilitation of reinforced concrete foundations are preferred.

Keywords: heritage; safety; seismic resistant; enhancement.

Autor de contacto: Noemí Maldonado (ngm@frm.utn.edu.ar)

© 2014 ALCONPAT Internacional

Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 4, No. 2, Mayo – Agosto 2014, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Av. Zamná No. 295 entre 61 y 63 Fraccionamiento Yucalpetén, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97248, Tel. 5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.mda.cinvestav.mx/alconpat/revista. 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, Av. Zamná No. 295 entre 61 y 63 Fraccionamiento Yucalpetén, Mérida Yucatán, México, C.P. 97248, fecha de publicación: 30 de mayo de 2014.

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.

1. INTRODUCCIÓN

Una alternativa que contribuye a la construcción sustentable es el reciclado o la actualización de las estructuras existentes. Esta problemática se agudiza en el caso de edificios con valor patrimonial cuando hay que habilitarlos para uso público en una zona de elevado riesgo sísmico, donde es difícil seguir estrictamente los principios de las diferentes cartas de restauración y la tarea es un reto a la ingeniería estructural (Maldonado et al, 2011).

El edificio de la Escuela Mitre está declarado en el patrimonio de Mendoza, Argentina. Es un edificio educacional monumental de un solo nivel, con un patio claustal rodeado de galerías a las que dan las aulas. Construida desde 1888 y habilitada en 1906, es de mampostería de ladrillos cerámicos cocidos de espesor mayor a 0,40 m. La escuela ha sufrido durante su vida útil distintos daños debido a los terremotos locales impulsivos de fuente cercana (INPRES, 1989) a los cambios en los materiales de la arquitectura y a la falta de mantenimiento.

La metodología de estudio ha incluido las siguientes etapas: una inspección detallada, las decisiones de emergencia, el análisis de las condiciones de conservación del edificio, el diagnóstico y el estudio de alternativas de rehabilitación (Maldonado y Michelini, 2000).

Con los datos de campo y de laboratorio, se ha modelado el edificio mediante elementos finitos, incluyendo la interacción con un suelo de muy baja capacidad portante y se ha analizado el comportamiento de diferentes materiales para la rehabilitación (CeReDeTeC 2000, 2010).

En la decisión de la puesta en valor se han considerado no sólo los costos sino la disponibilidad de tecnología local. Las ventajas del uso del hormigón en la rehabilitación es lograr el menor costo y el mejor desempeño estructural de acuerdo con las normas de rehabilitación vigentes, pero desde el punto de vista patrimonial, se ha preferido la combinación de estructuras de acero que no interfieren con la mampostería original y solamente la rehabilitación de las fundaciones con hormigón armado. La verificación de la seguridad estructural se ha realizado con técnicas de identificación de sistemas a través de medición de microvibraciones, comparando los resultados previos a la ejecución de la obra y al terminar la rehabilitación de la misma.

2. CASO DE ESTUDIO: ESCUELA MITRE

Para el estudio se tuvieron en cuenta la Carta de Venecia (1964), la Carta del Restauo (1972), el Código de Construcciones Sismorresistentes (CCSR87) de Mendoza (1987) y los documentos de Federal Emergency Management Agency (FEMA) N° 273 (1997) y N° 546 (2006).

2.1 Valoración patrimonial

La Escuela Bartolomé Mitre fue declarada dentro del Patrimonio Cultural de la Provincia de Mendoza por Decreto N° 1617 del 01/10/1993. La valoración como bien patrimonial se fundamenta en su aspecto arquitectónico documental, el aspecto monumental por su tipología escasa y de extinción y el valor significativo para su comunidad (Figura 1).

Su estilo de edificación corresponde a la política educativa implementada por la Ley Láinez (1905) respecto a la edificación escolar en todo el territorio nacional (Grementieri y Shmidt, 2010). El proyecto de construcción de la escuela Mitre se inició en 1888, pero su ejecución sufrió los avatares de las crisis políticas y económicas (1890) del país, con interrupciones prolongadas hasta su inauguración en 1906. Es un edificio diseñado específicamente para escuela, de una planta, sobre un esquema de patio central cuadrado (Y), rodeado de galerías hacia donde se abren los locales principales (C) en el frente principal. Hay un segundo patio con otro bloque de aulas y un tercer patio con servicios sanitarios. Hacia 1957 se vendió el terreno del patio sur, tapiando

las aberturas y perdiendo iluminación las aulas del costado sur (Figuras 2, 3, 4). Las distintas intervenciones durante su vida útil, más de 70 años, mejoraron su comportamiento original pero agravaron los problemas de habitabilidad (CeReDeTeC, 2000).

Como propietario de este edificio el Gobierno de la Provincia de Mendoza requiere una puesta en valor como institución educativa, por ello se inician en 1999 los estudios correspondientes y se continúan en 2010.



Figura 1. Aspecto de la fachada (año 2000)

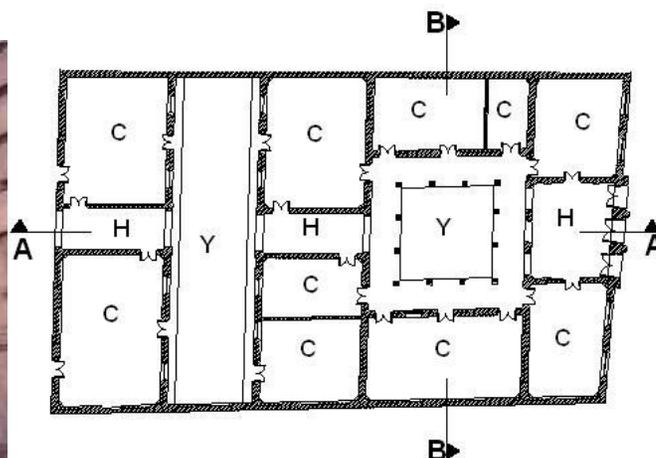


Figura 2. Planta general del edificio

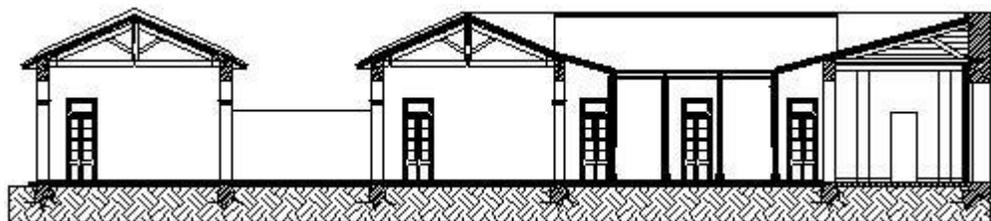


Figura 3. Corte A-A

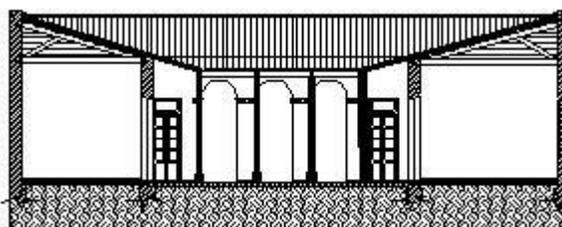


Figura 4. Corte B-B

2.2 Inspecciones y relevamientos

Se realizó una exhaustiva exploración de las patologías que presenta el edificio, evaluándose entre otros el daño durante la década transcurrida entre el primer estudio y el último. Uno de los daños de la mampostería se debe al terremoto de 1985, con fisuración en los tímpanos de los muros a 45° y la separación del frente luego de sismos importantes en 2005 y 2006. También se detecta una importante fisuración en los arcos debido a los asentamientos de las fundaciones (CeReDeTeC, 2000; AHTER, 2007).

Se observan eflorescencias a nivel de piso y a media altura, producto de la falta de capa aisladora en el cimiento y a la modificación de las condiciones de ventilación por colocación de un piso de

mosaicos en reemplazo del piso de madera flotante original con la anulación de la cámara de ventilación y la presencia de varias capas de pintura al aceite en los muros hasta una altura de 1,80 m, que impiden la evaporación de la humedad de la caja muraria.

El estudio de suelos detecta pérdidas permanentes en los desagües cloacales y pluviales, con el consiguiente aumento del tenor de humedad y presencia de fisuras en la mampostería por asentamientos, que se mantienen en actividad creciente, por el tipo de suelo existente y el aporte de agua por el uso de instalaciones (CeReDeTeC, 2000, 2010).

2.3 Medidas de emergencia

La seguridad estructural se ha degradado por el uso y por el tiempo y no puede ser utilizado el edificio hasta tanto no se rehabilite. Se deben eliminar los aportes de agua al suelo hasta la consolidación de sus fundaciones.

Para llevar este edificio histórico a un nivel de norma de seguridad de hoy en día, es casi necesaria la adecuación de su estructura. Sin embargo, el valor histórico puede perderse debido a la intervención, por lo tanto se necesitan nuevos enfoques para alcanzar la seguridad suficiente.

2.4 Análisis de las condiciones de conservación

2.4.1. Estabilidad de la edificación. La estructura portante del edificio consiste en gruesos muros de mampostería y columnas de mampostería. Tiene una cubierta metálica con estructura de sostén de madera con cabreadas, correas y relleno de caña y barro. La cimentación original existente está conformada por cascotes y piedras unidas con mortero de cal, de 0,60 cm de ancho y 0,90 m de profundidad como valor promedio.

Del análisis de carga de la cubierta se comprueba que las secciones no son suficientes para el nivel de carga permanente y el estudio de suelos determina que los cimientos existentes no tienen capacidad suficiente para la combinación de cargas verticales y horizontales (CeReDeTeC, 2000).

2.4.2. Ensayos de campo y laboratorio. Se identifica el material utilizado como mampuesto, en este caso se extraen solamente dos ladrillos de los cuales se determinan la densidad del volumen total (Norma IRAM 12593) de 1,65 g/cm³, la capacidad de absorción por agua fría (Norma IRAM 12588) de 22 % y la resistencia a compresión (Norma IRAM 12586) de 40 MPa.

Se extraen 7 probetas de mampostería mediante sierra de corte para caracterizar las capacidades resistentes, de tamaño de 0.25x0.25x0.30 m, de las cuales 4 se ensayan a compresión y 3 a compresión y corte mediante gatos hidráulicos con elementos de aplicación de carga con rótula esférica para acomodar las probetas debido a encabezados no nivelados (ver Figuras 5 y 6). Los resultados obtenidos (Tabla 1) permiten clasificar a la mampostería como de baja capacidad portante (menos de 7,5 MPa según CCSR87).

El estudio de suelos permite clasificar el suelo: los primeros 4,50 m son suelos finos con plasticidad, continuo y con 38% de humedad (CL) y bajo los mismos subyacen suelos aluvionales y semi-residuales entrecruzados de muy buena conformación geotécnica (GP), no presentando discontinuidades hasta los -9,0 m; analizados mediante exploración de pozos a cielo abierto. También se midió la velocidad de onda de corte (ensayo up hole; equipo Geometrics y geófonos verticales) de la parte superior, valor que no superó los 200 m/s y a partir de los 4,50 m fue de 365 m/s.

Tabla 1. Resultado de los ensayos

Item	Unidad	Valor
Densidad del mampuesto (promedio)	g/cm ³	1,65
Capacidad de absorción en agua fría del mampuesto (promedio)	%	22
Humedad del mampuesto (promedio)	%	15 – 20
Resistencia a compresión del mampuesto (promedio)	MPa	4,0
Resistencia a compresión de la mampostería (promedio)	MPa	2,5
Resistencia a compresión – corte último de mampostería	MPa-MPa	0,242 - 0,478
Resistencia a compresión – corte último de mampostería	MPa-MPa	0,494 - 0,805
Resistencia a compresión – corte último de mampostería	MPa-MPa	1,098 - 0,972



Figura 5. Disposición de la máquina de ensayo a compresión y estado de fisuración de la probeta



Figura 6. Disposición de los gatos hidráulicos de carga de compresión y corte y los estados de las probetas antes y después del ensayo

Los parámetros geotécnicos fueron determinados en laboratorio de muestras indisturbadas extraídas a distintas profundidades y del ensayo de plato de carga (según norma ASSTHO t222 81) con un equipo de carga que se acciona a través de una central oleohidráulica en forma manual, y son los parámetros que se utilizan para modelar el comportamiento de la fundación.

La velocidad media de onda de corte es la propiedad más significativa del suelo para la clasificación de sitio en zona sísmica; sin embargo no siempre está disponible, por lo que se acepta la correlación con los resultados del ensayo de penetración estándar (SPT) y que para este caso corresponde a un tipo espectral 2 (INPRES-CIRSOC 103, T I, 2009).

También se realizaron estudios complementarios de detección de metales y gammagrafía, los que no detectaron presencia de armaduras. Los cateos, ubicados en sector de dinteles, tampoco indicaron presencia de armaduras pasantes en la estructura de mampostería. Sólo se pudieron detectar tensores en la zona central de los pasillos, ubicados superficialmente, producto de una de las primeras intervenciones para conformar un sistema de arriostramiento del edificio, no suficiente para evitar el daño por sismo.

2.4.3. Control de vibraciones. La efectividad de la rehabilitación se evalúa mediante técnicas de identificación de sistemas. La misma consiste en medir las propiedades dinámicas de la estructura a través de vibración ambiental antes, durante y después de realizado el refuerzo estructural. Las vibraciones de baja amplitud provienen de distintas fuentes, entre ellas, del tránsito vehicular, de los microtemores, del viento, etc. En general en contenido de frecuencia de estas vibraciones es amplio o sea que su espectro de Fourier es prácticamente constante (un proceso estocástico estacionario, ruido blanco gaussiano en una gama de frecuencias de interés). El parámetro utilizado para medir la eficiencia del refuerzo estructural en este caso fue el periodo de los muros medido en la parte superior de los mismos. Antes de iniciarse los trabajos de refuerzo se midió la vibración ambiental en la estructura a fin de conocer los periodos de la misma con el nivel de daño existente. Una vez consolidada la fundación y reforzados los muros, se realizaron nuevas mediciones y de esta manera se puede conocer el grado de recuperación que ha tenido la estructura hasta esa etapa. El método para determinar los periodos es el de detección de picos, el cual consiste en obtener los espectros de densidad de potencia (espectro de Fourier al cuadrado) para los registros de aceleración, donde se identifican de manera visual los periodos de vibración de la estructura estudiada (Palazzo, 2000). Para la medición de vibraciones se utilizó un acelerómetro Basalt de Kinometrics. La duración de los registros es de 1 minuto y la frecuencia de muestreo de 200 Hz. En la Figura 7 se presenta el instrumental utilizado y un registro de aceleración debido a vibraciones ambientales.

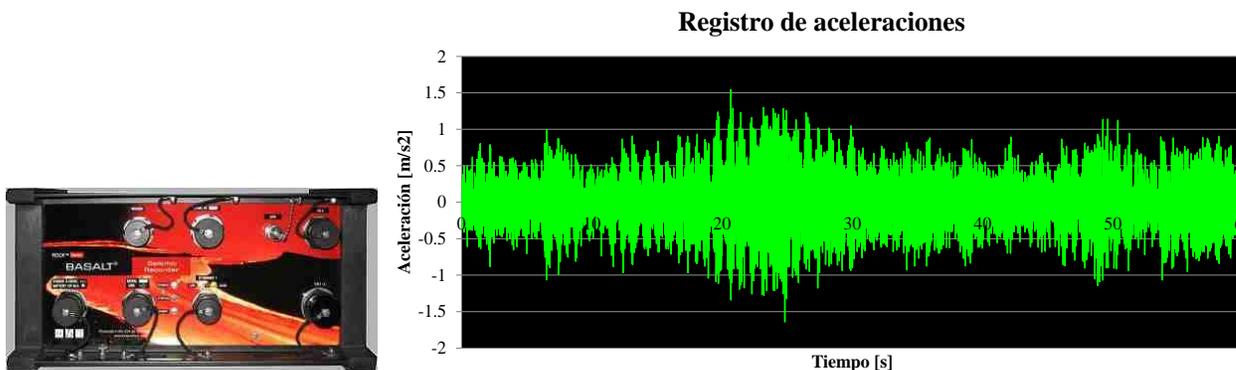


Figura 7. Acelerómetro digital Basalt (Kinometrics) y un registro de aceleraciones.

2.5 Diagnóstico

Se procede a modelar la estructura y el comportamiento del suelo bajo los cimientos utilizando los parámetros obtenidos en campo y laboratorio para verificar el daño estructural aplicando el método de los elementos finitos. Se puede apreciar que los gráficos de deformaciones para la

acción sísmica máxima indican los sectores más vulnerables del edificio, y que son coincidentes con los sectores dañados actualmente (ver Figura 8). Los daños observados en el edificio corresponden no sólo al problema del terremoto de 1985 y de los sismos importantes posteriores, sino a la falta de capacidad portante del suelo (Maldonado et al, 2011).

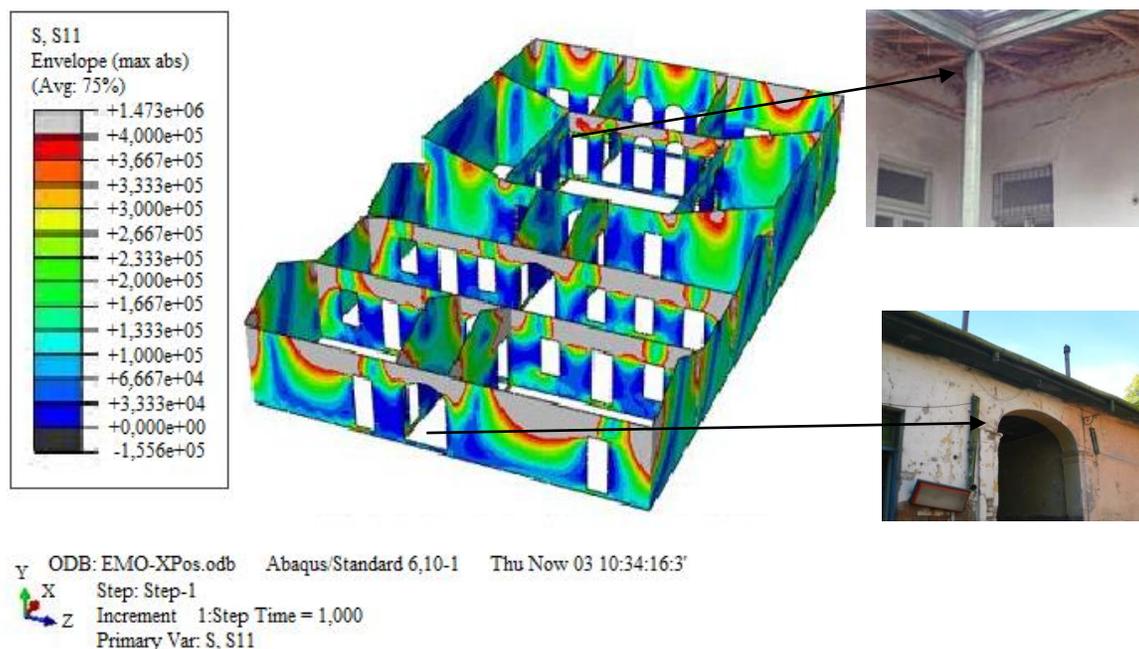


Figura 8. Correspondencia entre modelación de estado tensional y estado de daño del edificio

El diagnóstico indica la necesidad de reforzar las estructuras de mampostería, a fin de evitar deformaciones no compatibles con la mampostería.

2.6 Proyecto de rehabilitación

La propuesta de diseño estructural de rehabilitación debe cumplimentar dos aspectos:

- cumplimentar los requerimientos para asegurar que la estructura tenga seguridad suficiente frente a la sismicidad local
- recuperar el monolitismo con el que fue diseñado el edificio
- refuerzos adicionales de ser necesarios

Desde un punto de vista técnico es factible la recuperación. Desde un punto de vista económico se analizan las alternativas posibles en cuanto a costos con tecnología local (Maldonado et al, 2011).

La rehabilitación estructural de edificios históricos puede acompañarse ocultando los nuevos elementos estructurales o exponiéndolos. A veces se prefiere la exposición de nuevos elementos estructurales, porque alteraciones de este tipo son reversibles; esto es que podrían concebirse como que en un futuro se pueden cambiar sin pérdida del carácter histórico del edificio (Maldonado y Michelini, 1999). La decisión de ocultar o exponer elementos estructurales es compleja y se ha consensuado con los profesionales de la preservación participantes del proyecto de puesta en valor.

Se propone para cumplimentar los requerimientos estructurales (CeReDeTeC, 2010):

- Optimizar la fundación existente, consolidando el cimiento de cascotes mediante la inclusión de vigas de fundación de altura semejante a la altura del cimiento existente y la construcción de pilas de fundación hasta alcanzar el estrato de suelo resistente, ubicado por lo menos a 9 m de profundidad. Donde las condiciones de vecindad lo permita la viga de fundación estará conectada mediante pasadores metálicos entre sí o entre la viga y el cimiento en el caso de ubicación en la medianera o frente.
- Conformar un reticulado metálico en la parte superior del edificio, a fin de arriostrar en ambas direcciones los muros de mampostería mediante vigas metálicas ancladas a las paredes y perfiles metálicos, triangulando el espacio a cubrir. Este reticulado metálico se ubica de forma tal que el cielorraso suspendido no lo deja en evidencia y permite a su vez ser utilizado para ubicar cañerías de instalaciones (electricidad y aire acondicionado).
- Transmitir los esfuerzos de la estructura a las fundaciones a través de columnas metálicas ancladas en la estructura de mampostería y en la estructura de fundación.
- Se considera prioritario el saneamiento de la totalidad del sistema de desagües pluviales y cloacales. Para ello, se debe realizar el nuevo sistema de captación y evacuación de las aguas, debiéndose considerar su anulación y reemplazo, por los nuevos desagües construidos con materiales tecnológicamente mejores y disponibles en la actualidad.
- El estado actual de la cubierta metálica del edificio no es adecuado para conservar el interior del mismo libre de agua de lluvia, ya que se encuentra en avanzado proceso de corrosión. Esto obliga a reemplazarlas a la brevedad, siendo necesario rehacer canaletas para desagües pluviales y babetas y resolver el acceso de agua de lluvia en los muros de cierre.
- Para recuperar el monolitismo de la estructura de mampostería se propone el uso de lechadas de inyección cementicias o epoxis, según el espesor de las fisuras para recuperar la adherencia de mampuestos y morteros. En función del espesor de las fisuras podrá realizarse el cosido de la mampostería, en especial en el caso de los arcos.

Para la rehabilitación se considera el Capítulo 8 del Código de Construcciones Sismorresistentes de la Provincia de Mendoza (1987) sobre: “Modificaciones o reparaciones de obras existentes”, que evalúa los siguientes aspectos:

- Importancia de la obra actual: Corresponde a I.1. Obras importantes: por tratarse de una estructura dañada con valor patrimonial histórico.
- Calidad sismorresistente de la obra primitiva: Corresponde a C.4. Obras de mala calidad: las que no fueron proyectadas conforme a esta norma y presentan signos de funcionamiento estructural anómalo, cuya ejecución es defectuosa o bien no tienen un sistema resistente completo. Construcciones que no se ajustaron a los códigos vigentes al momento de su construcción o sin previsiones sismorresistentes.
- Capacidad sismorresistente de la obra primitiva: Corresponde a alcanzar S1: seguridad suficiente $r > 100\%$. Para alcanzar el nivel de seguridad corresponde: reparación de daños y ajuste completo al Código, o bien ampliaciones independientes y programa de sustitución.

La estrategia planteada para la verificación estructural del edificio formula un modelo (Figura 9) de elementos finitos no lineal, utilizando elementos isoparamétricos de 8 nodos (3D), con modelos constitutivos que simulan el comportamiento no lineal de la mampostería a fin de verificar la estructura ante las distintas acciones, considerando ya el daño existente de la estructura, por los distintos descensos de apoyo que la misma ha sufrido (Plaxis VB, 2004; Abaqus, 2011), y por otro lado se analiza la estructura, en forma lineal, mediante un software de elementos finitos, que permite el diseño y verificación de la solución propuesta y que permite dimensionar los distintos elementos estructurales (SAP, 2000). En la Figura 10 se puede observar un resultado representativo del estudio numérico realizado. En ella se aprecia la concentración de

tensiones asociada a los encuentros de muros y a los puntos de aplicación de cargas, puntos que deberán ser reforzados localmente, en tanto que el resto de la mampostería se encuentra sometida a un nivel tensional normal por debajo de las tensiones máximas. El sistema estructural subsistente, en particular los muros, mantienen un nivel de tensiones por debajo de su capacidad.

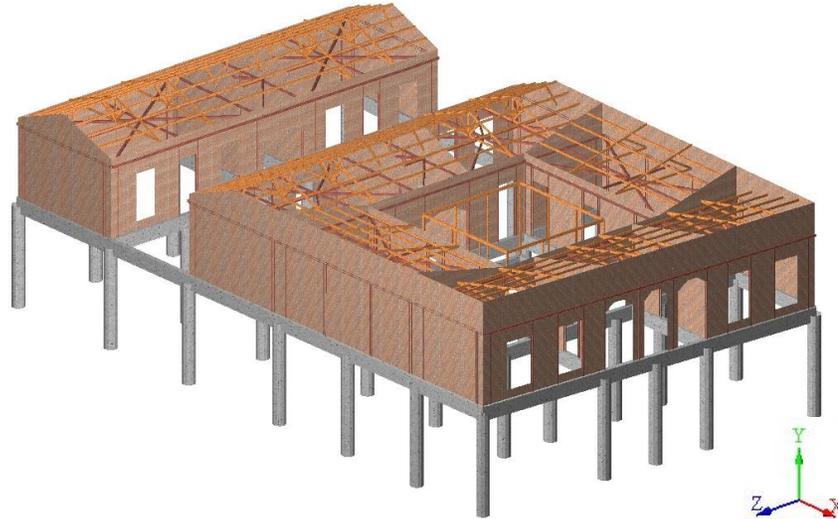


Figura 9. Modelo estructural adoptado

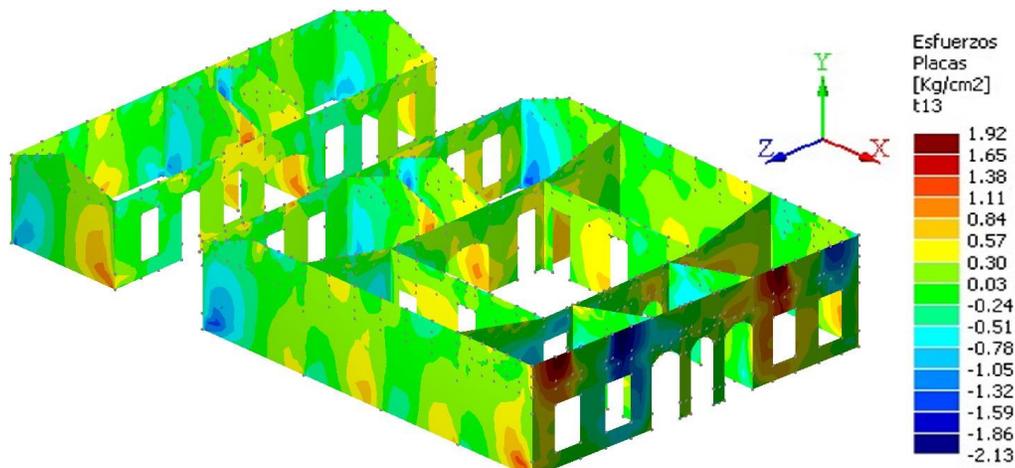


Figura 10. Estado tensional del modelo

Para la determinación de las acciones se considera el método estático equivalente, ya que tratándose de una construcción de un solo nivel, la aplicación de métodos dinámicos, no provee información adicional relevante respecto a la verificación de la seguridad estructural frente a las acciones sísmicas. El coeficiente sísmico resultante es 0,655, teniendo en cuenta un coeficiente zonal de 0,30, el uso público ($\gamma_d= 1,4$), ductilidad ($\gamma_{du}= 1,3$), vinculación ($\gamma_{vi}= 1$) y coeficiente de suelo ($s= 1,2$) (CCSR 87, 1987).

3. EJECUCIÓN DE LA PUESTA DE VALOR

La rehabilitación estructural se encuentra actualmente finalizada. La misma se inició por sectores para asegurar la capacidad portante de las fundaciones en primer lugar (Figura 11) y avanzar luego en la capacidad de la superestructura (Figura 12).

Durante la ejecución de la obra se presentaron distintas situaciones que modificaron algunos aspectos constructivos de las vigas de refuerzo de fundación de hormigón armado y los arcos. En particular, se encontró con una intervención bajo las pilas que sostienen los arcos en el patio central, se trata de una platea de fundación de unos 0,60 m de espesor. Se adoptó mantener esta base y vincularla al sistema estructural, debido a que las vibraciones producidas en la demolición podrían generar daños adicionales a la estructura.



Figura 11. Excavación de pozo, detalle de armado de cabezal, de vigas exteriores al cemento existente y encuentro de vigas interiores y cabezal de fundación



Figura 12. Emparrillado metálico triangulado a nivel de techo, anclaje de columnas en vigas de fundación y columnas y vigas metálicas de encadenado ancladas en la mampostería

Las vigas de fundación, fueron ejecutadas con hormigón H20 (20 MPa) y acero de construcción DN-420, la densidad media del hormigón simple es de 2300 kg/m³, los pocos elementos de hormigón armado introducidos en la caja muraria para coser grietas de mayor magnitud, fueron de resistencia limitada, no superando un hormigón de calidad H15 (15 MPa).

La eliminación de revoques y pinturas ha permitido apreciar el estado de daño en la mampostería, donde se han adoptado distintas técnicas de recuperación, según la ubicación y nivel de fisuración (Figura 13 y 14). La propuesta de recuperar el piso de madera con la cámara de aire ha permitido eliminar la humedad de la mampostería, dado el tiempo transcurrido de la obra que se ha mantenido al aire y al efectivo funcionamiento de las ventilaciones.



Figura 13. Fachada antes y después de la reparación de la mampostería. Arcos dañados y arcos reparados después de la consolidación



Figura 14. Estado de la mampostería previo a la intervención, estado de la mampostería luego de la recuperación de la cámara de aire y reparación de la mampostería con inyecciones y cosido.

Para los resultados de la medición de vibraciones ambientales se presenta la Densidad Espectral de Potencia normalizada (|PSD|). En la Figura 15 se muestra el análisis del muro sur, la curva roja es el espectro de potencia obtenido a partir de las mediciones tomadas en la estructura dañada antes del comienzo de los trabajos de refuerzo, donde se observa que el periodo fundamental de ese muro es de 0,084 s en sentido perpendicular al muro. Luego del refuerzo de fundaciones y reparación de fisuras se realizan nuevas mediciones de vibraciones, donde la curva azul es el espectro de potencia. El corrimiento del pico a 0,072 s representa una disminución del periodo del muro en el sentido analizado. Debido a que la masa no cambió significativamente, el cambio sería atribuible al aumento de rigidez de 36% estimado según la ecuación (1) derivada de la ecuación de periodo para un vibrador de un grado de libertad.

$$I_{rigidez} = \left[\left(\frac{T_{inicial}}{T_{final}} \right)^2 - 1 \right] \times 100 \quad (1)$$

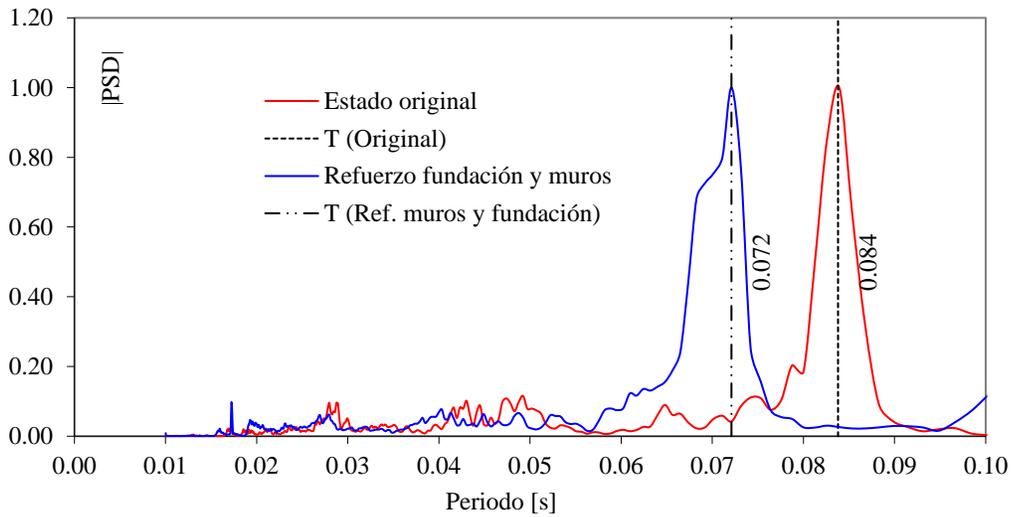


Figura 15. |PSD| muro analizado. Estado original, reforzado y periodo teórico.

Este índice de aumento de rigidez se evaluó en cada posición [POS #] que se indican en la Figura 17 y cuyos resultados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Índice de rigidez para los muros estudiados

Posición	Irigidez [%]	Dirección analizada
POS 1	0	N-S
POS 2	0	N-S
POS 3	3	N-S
POS 4	0	N-S
POS 5	91	E-O
POS 6	16	N-S
POS 7	36	N-S
POS 8	72	N-S

Finalmente una vez realizado el emparrillado metálico cuyo objetivo fue el de rigidizar a nivel de cubierta el edificio, se miden nuevamente las vibraciones para conocer el periodo final del edificio. En la Figura 16 se presenta el espectro de potencia, donde se ve que el periodo final de la estructura es de 0,059 s.

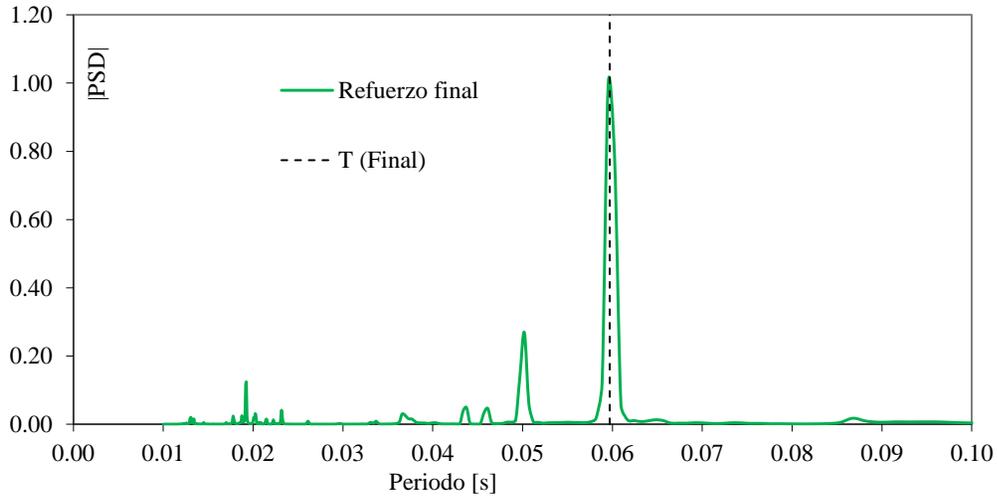


Figura 16. |PSD| Período final de la estructura.

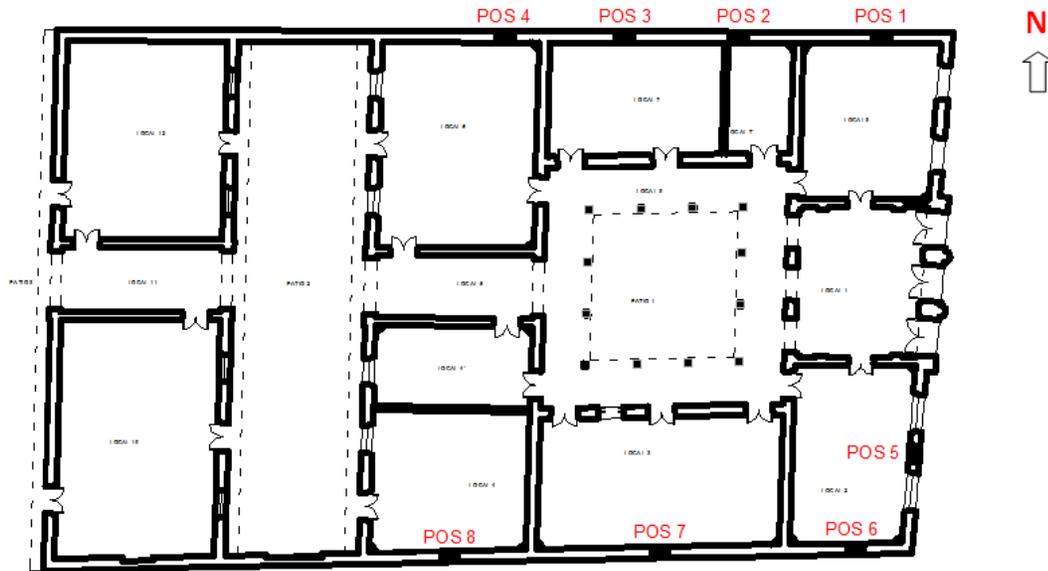


Figura 17. Posición de las mediciones de vibraciones ambientales.

El costo total de la recuperación estructural (840m²) con valores actualizados al mes de diciembre de 2013 ascendió a \$11.664.280,00, es decir que el costo unitario es de \$ 13.886,05/m². El costo de construcción medio de una obra pública de acuerdo a los montos de licitación de las últimas obras concursadas es del orden de \$10.200,00/m². Como se puede observar los valores son superiores a una construcción nueva e incluso mucho mayor a la estimación realizada por el Consejo Profesional de Ingenieros y Geólogos de Mendoza que es de \$ 6.355/m². Esto puede deberse a distintos factores, por un lado la rehabilitación prevista incluye la restitución de molduras en fachadas, que implicaron una gran cantidad de horas de artesanos muy calificados y por otra parte al modo de contratación realizado. La obra se contrató por ajuste alzado, en lugar de realizarse por unidad de medida, dando lugar a un sinnúmero de imprevistos y adicionales de obra.

4. CONCLUSIONES

En esta rehabilitación se asegura un comportamiento adecuado de la fundación frente a la acción sísmica mediante una intervención importante, por otra parte se garantizan los requerimientos patrimoniales sin objeciones.

La rehabilitación de este edificio patrimonial solo se justifica cuando es inevitable y donde las técnicas aplicadas deben compatibilizar los criterios de restauración con la tecnología y mano de obra local disponibles.

El monitoreo a través de medición de la vibración ambiental ha resultado una herramienta útil para evaluar el nivel de recuperación de la construcción, permitiendo en el futuro evaluar el estado de conservación del mismo.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte del Proyecto PICTO RS 255 de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza y la Agencia Nacional para la Promoción Científica y Tecnológica FONCYT y Gobierno de Mendoza. Los autores desean agradecer al personal técnico de la UTN: Sebastián Panella, Juan Carlos Palencia, Alfredo Cueto, Claudio Dagne, Sergio Acosta, Adrián Fantinel, Juan Pablo Cordone, Diego Novillo y Marcelo Guevara, a los profesionales de la Subdirección de Patrimonio de la Provincia de Mendoza: Liliana Girini, Silvia Salustro, Mercedes Castro, Pedro Cannepuccia y Emanuel Fernández, que han colaborado en el desarrollo del trabajo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ABAQUS (2011), “*Abaqus Analysis User’s Manual*”, 6.11. Simulia
- AHTER – INCIHUSA – CONICET (2007), Informe 2° Etapa: Diagnóstico y Pronóstico. ExEscuela Bartolomé Mitre, p. 54.
- AASHTO T 222-81 (1981) Standard Method of Test for Nonrepetitive Static Plate Load Test of Soils and Flexible Pavement Components for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements. p. 9.
- Carta del Restauo (1972) Gobierno de Italia.
- Carta Internacional sobre la Conservación y la Restauración de los Monumentos y Sitios (1964). 2° Congreso de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos, Venecia.
- CeReDeTeC (2000), Informe Técnico Escuela Mitre 2/2000, p. 88.
- CeReDeTeC (2010). Informe Técnico Escuela Mitre 15/2010, pp.105
- FEMA 273 (1997), “*Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*”, NEHRP, Washington, D.C., p. 368
- FEMA 547 (2006), “*Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*”, NEHRP, Washington, D.C., p. 571.
- Gobierno de Mendoza (1987), “*Código de Construcciones Sismorresistentes de la Provincia de Mendoza*”
- Grementieri F., Shmidt C. (2010), “*Arquitectura, educación y patrimonio. Argentina 1600-1975*”, Pamplatina, Buenos Aires, p. 282.
- INPRES (1995), *Microzonificación sísmica del Gran Mendoza*. Instituto Nacional de Prevención Sísmica. Resumen Ejecutivo. Publicación Técnica N°19, 269 pp, San Juan.

- INPRES-CIRSOC 103 (2009), “*Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes. Parte I Construcciones en general*”, p. 120.
- Maldonado N.G., Michelini R.J. (1999), “*Técnicas aplicadas para la restauración de construcciones antiguas de mampostería en zona de elevado riesgo sísmico*”, Memorias V Congreso Iberoamericano CONPAT99, Montevideo, Uruguay, Octubre 1999, vol. III, pp. 1581-1586.
- Maldonado N.G., Michelini R.J. (2000), “*Rehabilitación de un edificio de mampostería histórica en zona de elevado riesgo sísmico: un caso de estudio*”, Proceedings Engineering Congress 2000, Buenos Aires, pp. 23-32.
- Maldonado N.G., Martín P.E., Maldonado I.A. (2011), “*Seismic Mitigation of a Historic Masonry Building*”, The Open Construction and Building Technology Journal, 5 (Suppl. I-M3), pp. 61-70.
- Norma IRAM 12593 (2004), Ladrillos y bloques cerámicos para muros y tabiques. Método de ensayo de la densidad, del volumen total y del volumen macizo. p.11
- Norma IRAM 12588 (2006), Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de muros. Método de ensayo para la determinación de la capacidad de absorción de agua por inmersión en agua fría y en agua hirviendo. p.9
- Norma IRAM 12586 (2004), Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de muros. Método de ensayo de resistencia a la compresión. p.10
- Palazzo G. L. (2000), “*Identificación del daño estructural a través del cambio en las propiedades dinámicas*”. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina pp. 50-59. pp. 162.
- PLAXIS vb. V.7.2. (2004). Plaxis
- SAP 2000 (2000). Computers and Structures.