



Tópico 4 - N° 11

PUESTA EN VALOR DE UN EDIFICIO ESCOLAR PATRIMONIAL DE MAMPOSTERÍA EN ZONA DE ELEVADA SISMICIDAD: UN CASO DE ESTUDIO

Maldonado Noemí (1), Martín Pablo (1), Maldonado Ignacio (1), Calderón Francisco (2)

(1) *CeReDeTeC, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, Rodríguez 273, Ciudad, Mendoza, e-mail: ngm@frm.utn.edu.ar, pablo.martin@frm.utn.edu.ar, maldonadogeotecnia@yahoo.com.ar*

(2) *Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, panchocalderon1@hotmail.com*

RESUMEN

La Escuela Mitre es un edificio monumental patrimonial de 1906 de muros de mampostería cerámica cocida no reforzada de gran espesor y altura y presenta daño estructural debido a distintos eventos sísmicos y a la falta de mantenimiento. Las tareas de estudio se inician en 1999 y las obras de puesta en valor en 2012. La falta de capacidad portante del suelo, por pérdidas de agua de las cañerías produjo importantes asentamientos diferenciales que obligaron a su inhabilitación. El comportamiento del edificio se ha evaluado mediante un modelo de elementos finitos, tanto para la valoración del daño existente como para la rehabilitación.

Los criterios para la rehabilitación se han acordado con los expertos en patrimonio, en busca de un equilibrio entre las tecnologías nuevas y las existentes para la rehabilitación de la estructura, usando la menor cantidad posible de hormigón armado e incorporando el acero como elemento estructural sismorresistente diferenciado, para preservar la fábrica, utilizando mano de obra local. Durante la ejecución de los trabajos de rehabilitación se detectaron intervenciones no registradas documentalmente, que implicaron cambios en el diseño estructural del refuerzo. El resultado final de la puesta en valor se valida mediante la medición de las microvibraciones ambientales del edificio antes y después de la rehabilitación. Actualmente se encuentra en estado de terminación.

Palabras-Clave: *mampostería – sismorresistente – rehabilitación - normativa*

1. INTRODUCCION

El edificio de la Escuela Mitre es un bien patrimonial de Mendoza, Argentina. Es una construcción escolar monumental de un solo nivel, con un patio central rodeado de galerías a las que dan las aulas. La construcción se inició en 1888 y se habilitó en 1906, con estructura de mampostería de ladrillos cerámicos cocidos de espesor mayor a 0,40 m y morteros de cal [1]. La escuela ha sufrido durante su vida útil distintos daños debido a los terremotos locales impulsivos de fuente cercana [2], a los cambios en los materiales utilizados 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 [3] debido a que el mismo debe cumplimentar los requerimientos de seguridad establecidos en los reglamentos de construcciones sismorresistentes. También ha requerido estudios de suelos y materiales de construcción en campo y en laboratorio, lo que permite modelar el edificio mediante elementos finitos, incluyendo la interacción con un suelo de muy baja capacidad portante. También se han analizado el comportamiento de diferentes materiales para la rehabilitación [4,5].



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 de patrimonial, se ha preferido la combinación de estructuras de acero que no interfieren con la fábrica original y solamente en la rehabilitación de las fundaciones se usa 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. ESTUDIO DE CASO: ESCUELA MITRE

2.1. Antecedentes históricos y documentales

El estilo de edificación corresponde a la política educativa implementada por la Ley Láinez de 1905 respecto a la edificación escolar en todo el territorio nacional [6]. El proyecto de construcción de la escuela Mitre se inició en 1888, pero su ejecución sufrió los avatares de las crisis políticas y económicas 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, rodeado de galerías hacia donde se abren las aulas con techo de caña y barro y cubierta de chapa. Hay un segundo patio con otro bloque de aulas y un tercer patio con servicios sanitarios. Hacia 1957 se vende el terreno al patio sur, tapiando las aberturas y perdiendo iluminación las aulas del costado sur. Las distintas intervenciones durante su vida útil, más de 70 años, mejoraron su comportamiento original pero agravaron los problemas de habitabilidad [4]. El terremoto de Mendoza de 1985 daña la estructura resistente por lo que se inhabilita para el uso educativo original y el edificio es desocupado.

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 y se da por Decreto N°1617 del 01/10/1993 para integrar el Patrimonio Cultural de la Provincia de Mendoza. 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.

2.2. Inspecciones y relevamientos

En 2010 se realiza una exhaustiva exploración de las patologías que presenta el edificio, evaluándose el daño aparecido durante la década transcurrida entre el primer estudio y el último. El daño de la mampostería debido al terremoto de 1985 se manifiesta en la fisuración de los tímpanos de los muros a 45° y los sismos de 2005 y 2006 producen la separación del frente. También se detecta una importante fisuración en los arcos debido a los asentamientos de las fundaciones [1, 4, 5]. 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 (Fig.1).

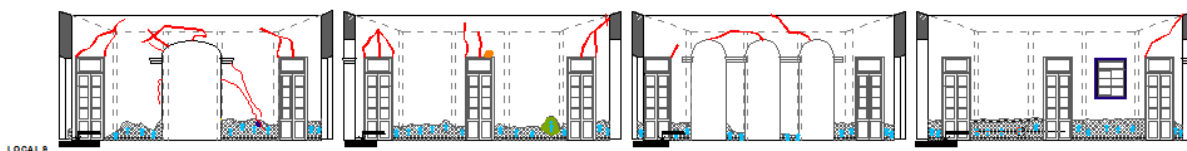


Figura 1- Ejemplos de patologías encontradas en el relevamiento del edificio escolar



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 [4,5].

2.3. Decisiones de emergencia

La seguridad estructural se ha degradado por el uso y por el tiempo y el edificio no puede ser utilizado 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 actual, es 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 requerida.

2.4. Análisis de las condiciones de conservación

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 cabriadas, correas y relleno de caña y barro (Fig. 2). 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 [4,5]. 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.



Figura 2 - Cubierta, vista posterior y estado de mampostería durante el relevamiento

El estudio de suelos permite clasificar el suelo: los primeros 4,50 m son suelos finos con plasticidad, continuos y con bastante humedad (CL) y bajo los mismos subyacen suelos aluvionales y semi-residuales entrecruzados de muy buena conformación geotécnica (GP), no presentando discontinuidades hasta los - 9,0m; analizados mediante exploración de pozos a cielo abierto. También se mide la velocidad de onda de corte (ensayo up hole) de la parte superior, valor que no supera los 200 m/s y a partir de los 4,50 m es de 365 m/s. Los parámetros geotécnicos fueron determinados en laboratorio de muestras extraídas a distintas profundidades y del ensayo de plato de carga y son los que se utilizan para modelar el comportamiento de la fundación.

Se identifica el material utilizado como mampuesto, caracterizando sus aspectos físicos y mecánicos (densidad=1653 kg/m³, porosidad 22%, resistencia a compresión= 2,5MPa). Se evalúan las capacidades últimas bajo cargas simultáneas de compresión y corte en laboratorio en probetas extraídas del edificio [7]. Los resultados permiten clasificar a la mampostería como de baja capacidad portante.



Los cateos, ubicados en sector de dinteles, tampoco indican presencia de armaduras en la mampostería. Sólo se pudieron detectar tensores en la zona central de los pasillos, ubicados superficialmente, producto de alguna de las intervenciones realizadas para conformar un sistema de arriostramiento del edificio, no suficiente para evitar el daño por sismo [5].

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

Las mejoras en las condiciones ambientales de conservación indican la necesidad de recuperar la cámara de aire para evitar la humedad en los muros de mampostería o introducir una capa aisladora horizontal.

La efectividad de la rehabilitación se debe evaluar mediante la medición de las propiedades dinámicas de la estructura a través de vibración ambiental antes, durante y después de realizada la puesta en valor y el parámetro utilizado es el periodo de la construcción [9].

2.6. Proyecto de rehabilitación

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 significa que podrían en un futuro cambiarse sin pérdida del carácter histórico del edificio [10]. 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.

La propuesta de diseño estructural de rehabilitación debe cumplimentar los siguientes aspectos:

- asegurar que la estructura tenga seguridad suficiente frente a la sismicidad local
- recuperar el monolitismo con el que fue diseñado el edificio, con eventuales 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 [8].

Se propone para cumplimentar los requerimientos estructurales [5]:

- 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 aguas de lluvias, 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 [11] 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 (Fig. 3) 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 [12, 13], 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 [14].

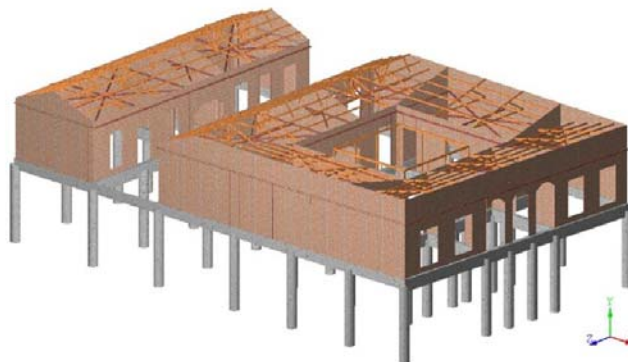


Figura 3 - Modelo completo de la rehabilitación



En la Fig. 4 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.

Para la determinación de las acciones se consideró 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 resultó en 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 ($s = 1,2$) [11].

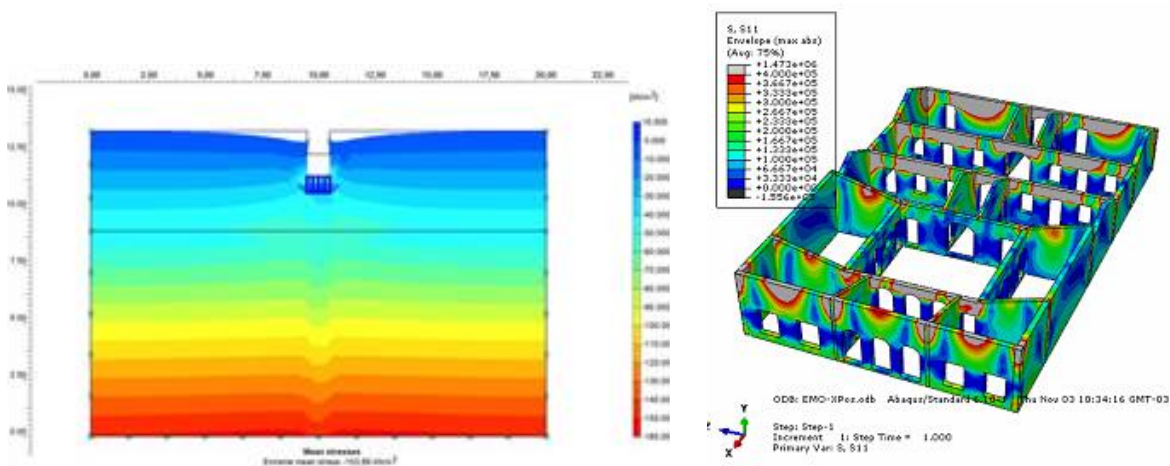


Figura 4 - Estado tensional del suelo bajo fundación y estado tensional de la mampostería

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 (Fig. 5) y avanzar luego en la capacidad de la superestructura (Fig. 6).

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 0.60m 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 5 – Armado de pilares y cabezales de la fundación

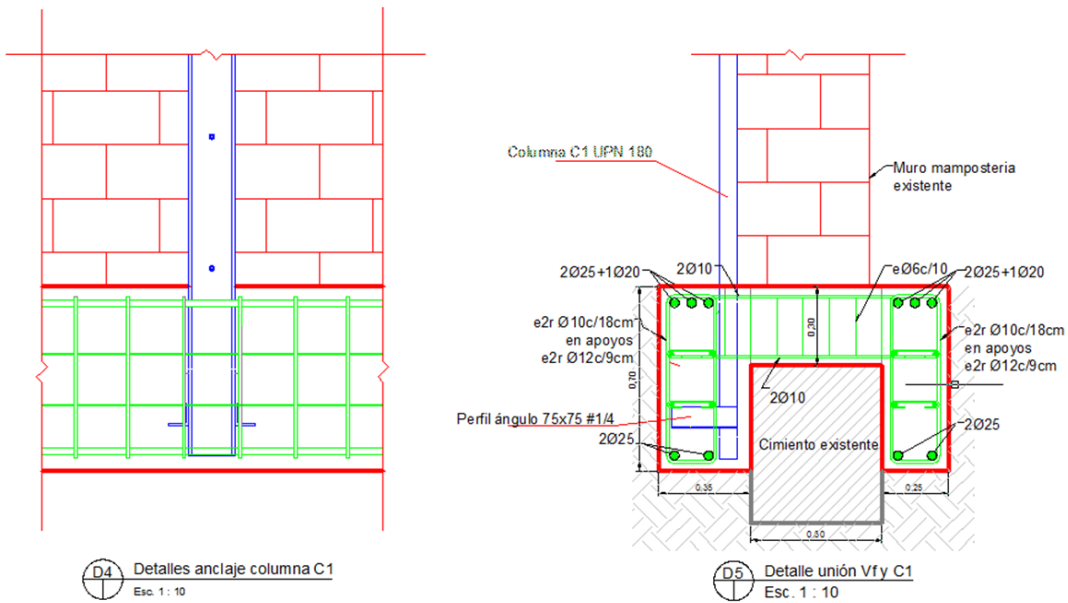


Figura 6 – Detalle de anclaje de columnas en fundaciones y unión con vigas



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 (Fig. 7 y 8).



Figura 7 – Reparación de la mampostería en el frente del edificio (interior y exterior)



Figura 8 – Reparación de arcos y tímpanos de mampostería

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 (Fig. 9).



Figura 9 – Recuperación de cámara de ventilación y estructura metálica de conexión

Para los resultados de la medición de vibraciones ambientales se presenta la Densidad Espectral de Potencia normalizada (IPSD) en Fig. 10, donde se observa cómo el periodo del muro de mampostería analizado ha disminuido respecto a su estado original, aproximadamente un 85%, además se presenta el periodo teórico de dicho muro. Esta mejora en el periodo, y por lo tanto en la rigidez de la estructura está relacionada a la consolidación de las fundaciones y reparación de fisuras en la mampostería, esto es una estructura con mayor grado de monolitismo. Finalmente una vez realizado el emparillado metálico (diafragma) se mide nuevamente para conocer el periodo final del edificio (Fig. 11).

Si bien el funcionamiento estructural entre la segunda medición (cubierta semi-flexible) y tercera medición (diafragma rígido) es distinto, la medición final del periodo de la estructura sirve como parámetro de monitoreo pasivo, esto consiste en realizar mediciones luego de eventos sísmicos, a fin de verificar si la estructura ha sufrido daños (aumento de periodo, amortiguamiento, etc.).

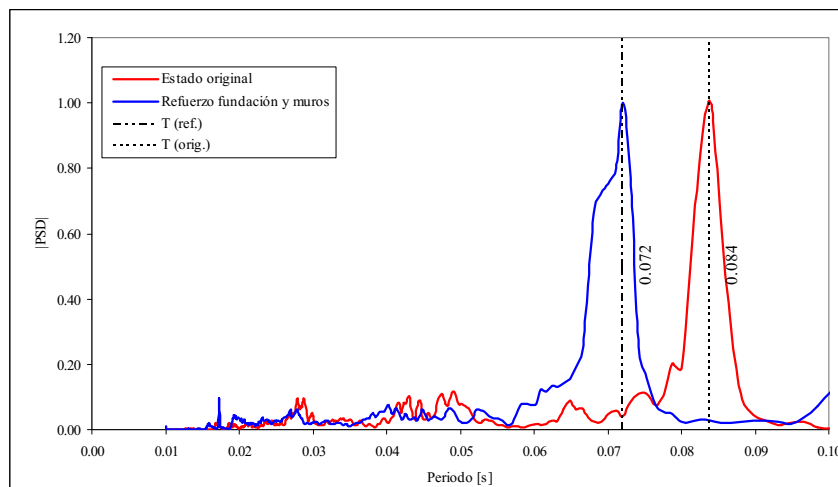


Figura 10 - |PSD| muro analizado. Estado original, reforzado y periodo teórico

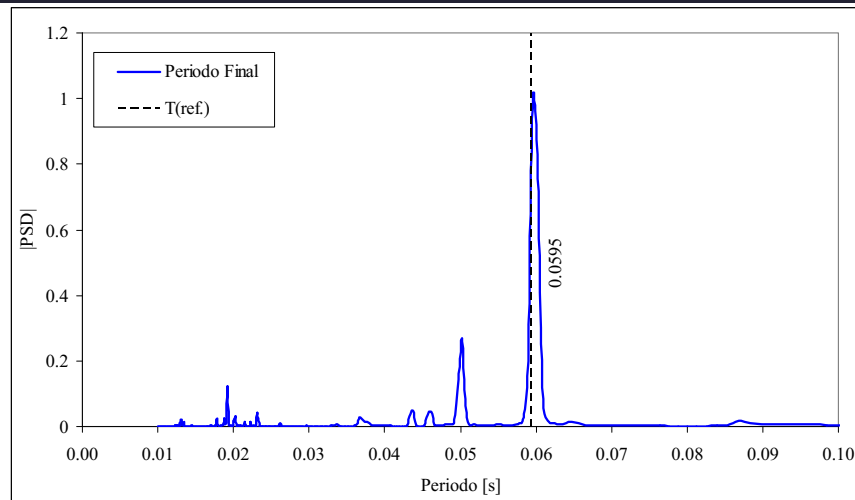


Figura 11 - |PSD| Periodo final de la estructura

4. CONCLUSIONES

Esta puesta en valor garantiza los requerimientos patrimoniales sin objeciones y la rehabilitación de la fundación asegura un comportamiento adecuado frente a la acción sísmica mediante una intervención importante.

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.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte del Proyecto PICTO RS 255 de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza, 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 y al Ing. Guillermo Donaire de la empresa CEOSA por su colaboración durante la ejecución de la obra.

REFERENCIAS

- [1] AHTER – INCIHUSA – CONICET (2007), Informe 2º Etapa: Diagnóstico y Pronóstico. ExEscuela Bartolomé Mitre, p. 54.
- [2] INPRES (1989), *Microzonificación sísmica del Gran Mendoza*.
- [3] 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.

[4] CeReDeTeC (2000), Informe Técnico Escuela Mitre 2/2000, p. 88.

[5] CeReDeTeC (2010). Informe Técnico Escuela Mitre 15/2010, pp.105

[6] Grementieri F., Shmidt C. (2010), “Arquitectura, educación y patrimonio. Argentina 1600-1975”, Edit.Pamplatina, Buenos Aires, p. 282.

[7] Informe técnico Informe 04/07. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza Laboratorio de Ensayos Estructurales, Ceredetec. Ensayo de compresión y corte en probetas de mampostería histórica. Solicitante: CRICYT. Julio de 2007. pp. 9.

[8] 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.

[9] Palazzo G. L. (2000). “Identificación del daño estructural a través del cambio en las propiedades dinámicas”. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina.

[10] 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.

[11] Gobierno de Mendoza (1987), *Código de Construcciones Sismorresistentes de la Provincia de Mendoza*.

[12] PLAXIS VB. V.7.2. (2004).

[13] ABAQUS (2011), Simulia. Abaqus Analysis User’s Manual, 6.11.

[14] SAP 2000 (2000). Computers and Structures.