



# Revista ALCONPAT

[http://www.mda.cinvestav.mx/revista\\_alconpat](http://www.mda.cinvestav.mx/revista_alconpat)

eISSN 2007-6835



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

## Importancia de la modelación numérica en la puesta en valor de estructuras patrimoniales de mampostería en zona sísmica.

G. González del Solar<sup>1,3</sup>, P. E. Martín<sup>1</sup>, F.A. Calderón,<sup>1,2</sup> N. G. Maldonado<sup>1</sup>, I.A. Maldonado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, Rodríguez 273, Ciudad , Mendoza, República Argentina. Email: [ngm@frm.utn.edu.ar](mailto:ngm@frm.utn.edu.ar)

<sup>2</sup> Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, República Argentina

<sup>3</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, República Argentina

### Información del artículo

Artículo recibido el 08 de Julio de 2014, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el ## de Mes de 2014. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el egundo número del año 2015 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2015.

### RESUMEN

Se aplica la modelación numérica de un edificio de mampostería cerámica cocida de fines del siglo XIX en la zona de mayor riesgo sísmico de Argentina mediante el método de los elementos finitos. Para la verificación estructural se formula un modelo no lineal, utilizando elementos tipo shell que simulan el comportamiento no lineal de la mampostería a fin de verificar la estructura ante distintas acciones considerando el daño existente y por otro lado, se analiza la estructura en forma lineal para diseñar y verificar el refuerzo propuesto. Para el comportamiento del suelo se utiliza el modelo de Mohr Coulomb elasto-plástico. La validez de los resultados obtenidos implica utilizar parámetros derivados de estudios de campo y laboratorio a escala natural, de muretes de espesores similares. La eficiencia de la puesta en valor se analiza mediante técnicas de identificación de sistemas previo a la rehabilitación y posterior a ella.

© 2014 ALCONPAT Internacional

**Palabras clave:** mampostería, gran espesor, sismo, modelación

### ABSTRACT

A numerical modeling of an artisanal ceramic brick masonry building dated from the late nineteenth century in the area of the highest seismic hazard of Argentina by the finite element method is applied. A nonlinear model is formulated, using shell elements that simulate the nonlinear behavior of the masonry structure in order to verify some actions considering existing damage. On the other hand, the structure is analyzed elastically for design and verify the proposed reinforcement. The soil foundation behavior is modeled by elastoplastic Mohr Coulomb. The validity of the results obtained from field studies and laboratory tests, where low walls are made of similar thickness parameters. The efficiency of the enhancement is analyzed using identifying system techniques prior to rehabilitation and post it.

**Key words:** masonry, large thickness, earthquake, modelation

Autor de contacto: Noemí Graciela Maldonado

### Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 4, No. 3, Septiembre - Diciembre 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](mailto:alconpat_int@gmail.com), Página Web: [www.mda.cinvestav.mx/alconpat/revista](http://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 última modificación: 30 de Diciembre 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

La puesta en valor de construcciones existentes es un requerimiento demandante para la sostenibilidad ambiental y para alcanzar los niveles de seguridad suficiente en los edificios patrimoniales, en especial cuando se trata de habilitarlos al uso público en una zona de elevado riesgo sísmico. Sin embargo, el valor histórico puede perderse debido a la intervención, por lo tanto se necesitan nuevos enfoques en su estudio (Maldonado et al, 2011).

La infraestructura escolar de fines del siglo XIX y principios del XX en Mendoza, Argentina se ha ejecutado con mampostería cerámica cocida sin encadenados y con espesores y alturas significativas (Grementieri & Shmidt, 2010). Los terremotos locales de fuente cercana han dañado estos edificios, por lo tanto se requiere evaluar su vulnerabilidad y adecuarlos a la normativa vigente, sin olvidar los aspectos históricos y sociales (INPRES, 1986; CCSR, 1987; INPRES-CIRSOC 103, 2009).

En este trabajo se presentan y analizan los resultados de los distintos modelos utilizados en la puesta en valor de un edificio escolar patrimonial. Los estudios de campo y de laboratorio han permitido obtener parámetros para modelar el comportamiento del edificio y del suelo mediante el método de los elementos finitos.

## 2. EDIFICIO ESTUDIADO

La escuela Bartolomé Mitre de la ciudad de Mendoza, es un edificio monumental construido a partir de 1880 con muros de mampostería cerámica cocida de más de 0,35 m de espesor y 7,0 m de altura, techo de caña y barro con cubierta de zinc y una fundación superficial de cimientos de calicanto bajo muros. El diseño arquitectónico corresponde a un edificio educacional desarrollado alrededor de un patio central con una galería a la que dan las aulas y dos patios internos con sectores de servicio en la parte posterior (Maldonado et al, 2011).

El edificio escolar ha permanecido bajo la tutela del Estado Provincial, siendo afectado por los distintos eventos sísmicos ocurridos desde su construcción. En 1927 el terremoto de Lavalle, produjo daños que obligaron a introducir un atensoramiento de los muros de los pasillos, resultando una intervención débil. El evento ocurrido en abril de 1967 llevó a la necesidad de refundar los apoyos de las columnas de mampostería del patio central debido a los daños detectados en los arcos. El sismo de enero de 1985 produjo la fisuración de los tímpanos superiores de la mampostería del frente. Finalmente, el temblor de agosto de 2006 produjo el desprendimiento de un sector de la fachada. Debido a esto, a partir de 1985 se suspendió el uso como edificio educativo y en 1993 recibió la declaración de bien patrimonial de la Provincia de Mendoza. Los requerimientos municipales han obligado al gobierno provincial a definir su situación: demolición o puesta en valor.

El edificio original ha tenido varias intervenciones que modificaron su funcionamiento y afectaron su seguridad. Una de ellas ha sido el reemplazo del piso de madera flotante por un piso de mosaico y relleno de la cámara de aire, lo que significó la degradación de la mampostería por acción de la humedad del suelo. Por otro lado, la elección de pintura al aceite en muros hasta una altura de 1,50 m produjo daños en la mampostería por presencia de sales (Gómez Voltán, 2007). Además, el mal funcionamiento de los desagües pluviales y cloacales afectó el comportamiento del suelo y generó el asentamiento de muros y daños en los arcos.

Para remediar los problemas descriptos es que a partir de 1999 se iniciaron las inspecciones y estudio de materiales. Los estudios de suelos y la medición de microvibraciones ambientales han

permitido entender el comportamiento anómalo inspeccionado (CeReDeTeC, 2010). En 2011 se inició la puesta en valor que ha concluido en el aspecto estructural a mediados de 2013.

### **3. MODELACIÓN**

El Gran Mendoza, principal núcleo urbano del oeste argentino, tiene el mayor riesgo sísmico del país, y mantiene en pie más del 30% de sus edificios escolares construidos en mampostería cerámica de gran espesor con mínimas previsiones sismorresistentes o con previsiones sismorresistentes obsoletas (INPRES, 1989). Debido a esto, estudiar las construcciones existentes y entender su comportamiento ante cargas sísmicas toma un rol protagónico a la hora de la puesta en valor de las estructuras (Maldonado et al, 2013).

Los modelos numéricos elegidos deben ser capaces de captar los diferentes modos de falla del material. Sin embargo, la mayor parte de los estudios realizados en mampostería y en mampostería reparada se basan en espesores no mayores a 0,20 m (ACI 440.7R-10, 2010). De esta manera, es necesario generar modelos de simulación numérica que permitan anticipar el comportamiento de muros de mayores espesores y contrastarlos con ensayos experimentales.

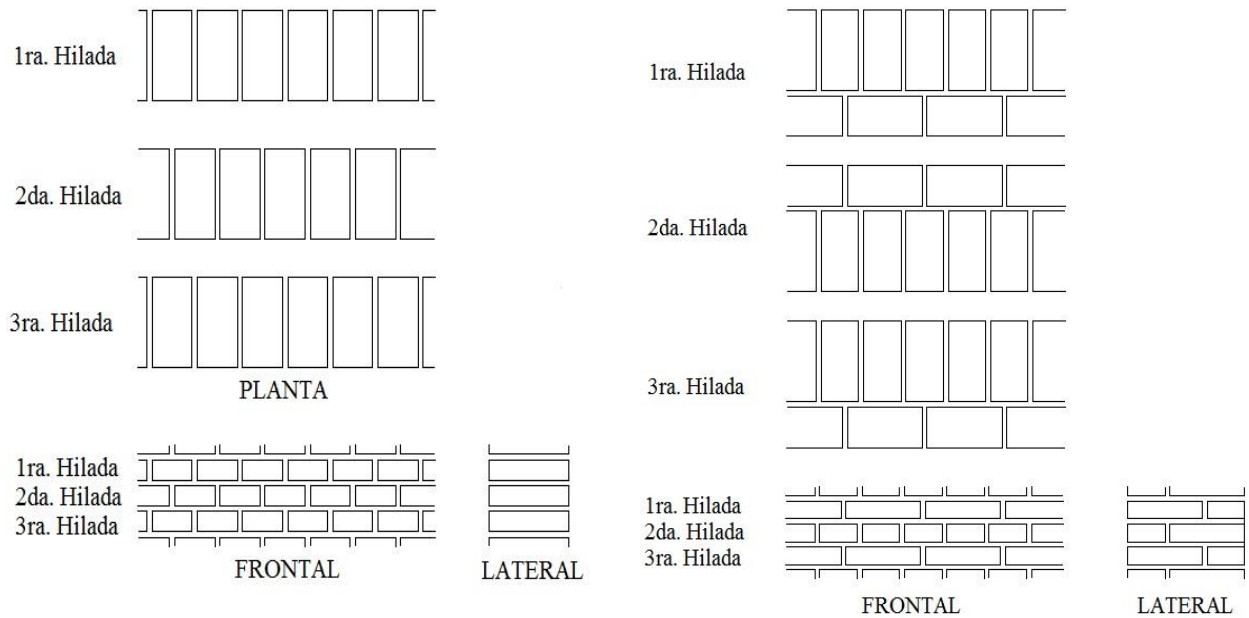
En este trabajo se analiza en primer lugar la modelación de la mampostería con distintos espesores para ajustar parámetros, luego se evalúa la estructura como modelo lineal para realizar el diseño de la estructura de refuerzo y se utiliza un modelo no lineal para verificación del daño. Paralelamente se realiza una modelación del suelo a fin de verificar las condiciones de capacidad y deformabilidad del mismo a través de un modelo elasto-plástico tipo Mohr Coulomb.

#### **3.1. Modelación de la mampostería**

Los muros de mampostería del edificio escolar en estudio conforman aparejos de tres espesores distintos obtenidos por la combinación de los mampuestos y distribuidos según la función del paramento. En tabiques divisorios se observa un espesor medio de 0,38 m obtenido por la colocación del mampuesto de cabeza (Figura 1a). Los muros de soporte estructural presentan un espesor de 0,55 m obtenido por un mampuesto de cabeza y otro de soga (Figura 1b). Finalmente, para el basamento de fundación se emplea un mampuesto de cabeza y dos de soga dando un espesor final de 0,75 m (Figura 1c).

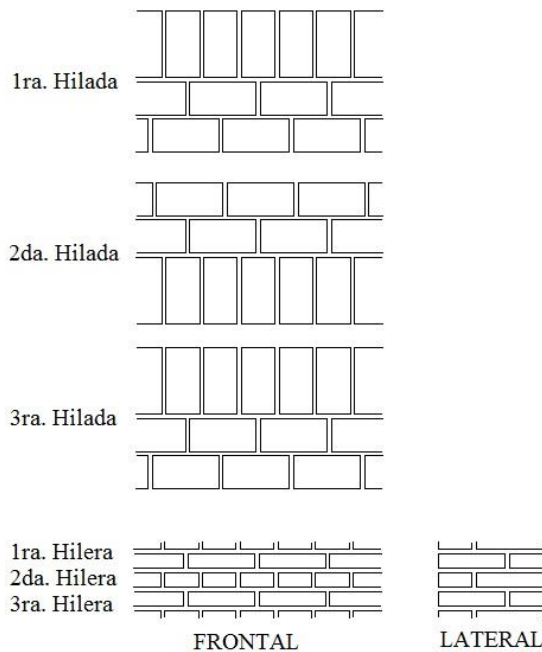
Para obtener los parámetros de modelación de la mampostería, se realizaron ensayos en laboratorio en escala 1:1 sobre probetas que responden a las características generales observadas en el párrafo anterior. Los muretes confeccionados poseen dimensiones de 1,0 m x 1,0 m de lado con espesor variable de acuerdo a las disposiciones indicadas en las Figuras 1a y 1b. Se confeccionaron 3 probetas similares siguiendo el aparejo de Figura 1a denominadas MMB-02, MMB-03 y MMB-04 y otras tres probetas con el aparejo 1b denominadas MMB-05, MMB-06 y MMB-07. Las propiedades de los materiales empleados responden a las tecnologías actuales siendo las dimensiones medias del mampuesto 6,6 cm x 26,0 cm x 16,4 cm con densidad media de 1376,30 kg/m<sup>3</sup>. Por otro lado, el mortero empleado se trata de un tipo N (INPRES CIRSOC 103-Parte III, 1983) con una dosificación volumétrica 1:1:6 en cemento, cal y arena (González del Solar et al, 2013), simulando materiales como técnicas constructivas similares a las utilizadas a comienzos del siglo XX (Gómez Voltán, 2007).

Con los resultados experimentales alcanzados se formuló un modelo de elementos finitos empleando el software ABAQUS (Simulia, 2011) y cuyos parámetros permiten obtener un comportamiento similar al observado durante los ensayos. Para ello se adoptó un material elasto-plástico regido por la teoría de falla Drucker Prager y cuyas características se resumen en la Tabla 1.



a) Aparejos para los muros de mampostería de 0,38 m (mampuesto de cabeza)

b) Aparejos para los muros de mampostería de 0,55 m (mampuesto de cabeza y soga)



c) Aparejos para los muros de mampostería de 0,75 m (mampuesto de cabeza y dos de soga)

Figura 1. Aparejo de los muros de mampostería

Tabla 1. Propiedades elasto-plásticas de la mampostería simulada

<b>Características elásticas</b>	
E [N/m <sup>2</sup> ]	6,85E+09
Coef. de Poisson (ν)	0,155
<b>Características plásticas</b>	
Ángulo de fricción [°]	32
Razón de tensión de flujo	0.8
Ángulo de dilación [°]	36
Tensión de inicio de fluencia a compresión [N/m <sup>2</sup> ]	1,30 E+06
Tensión última de compresión [N/m <sup>2</sup> ]	1,60 E+06
Deformación plástica absoluta [m]	0,0005

En la Figura 2a se presenta el esquema de cargas y en las Figuras 2b y 2c las probetas de mampostería antes del ensayo y luego del ensayo a compresión diagonal en laboratorio.

En la Figura 3 se muestra la zona afectada por daño plástico, que simula la zona dañada en la mampostería.

En la Figura 4 se grafican los resultados de carga horizontal vs. deformación de las probetas ensayadas y los ajustes experimentales adoptados para la modelación de la mampostería por MEF.

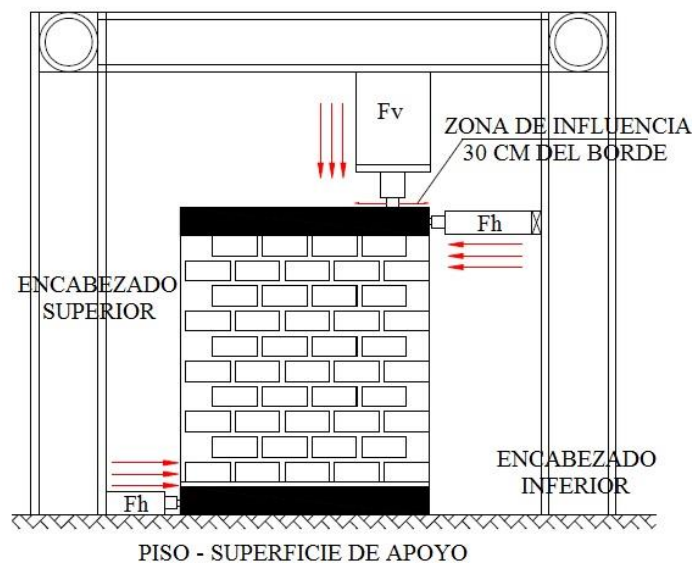


Figura 2. Probetas ensayadas a compresión diagonal (antes y después del ensayo).

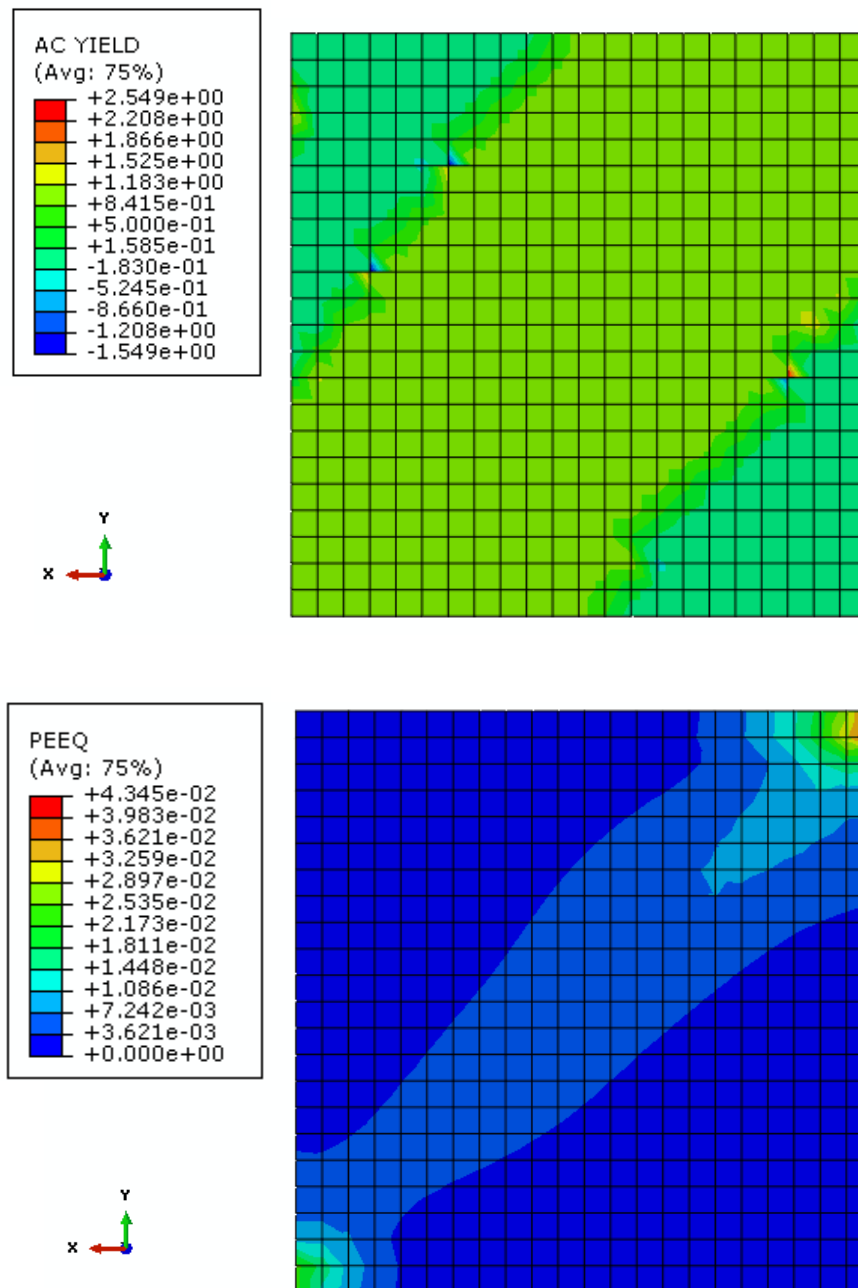


Figura 3. Modelación mediante elementos finitos de las probetas.

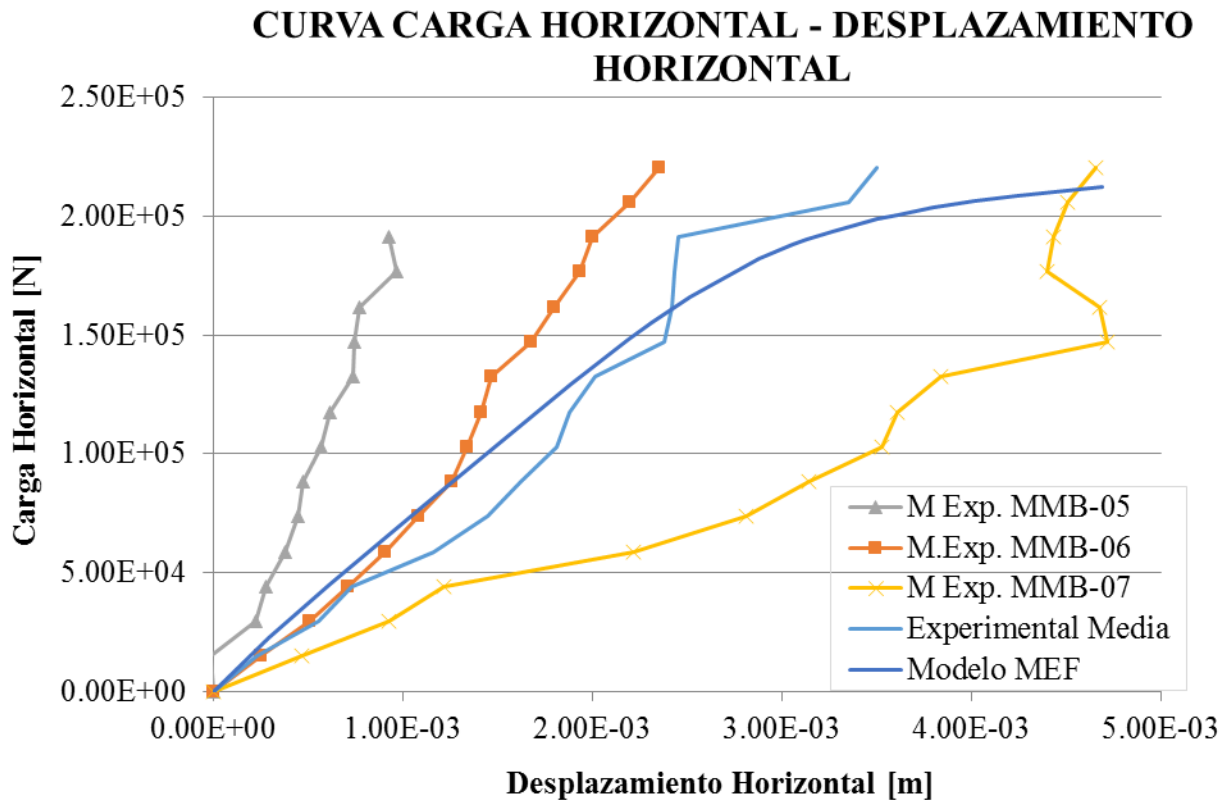


Figura 4. Simulación en cargas horizontales.

#### 4. VALIDACIÓN DE LOS MODELOS

Con los parámetros obtenidos en campo y en laboratorio se modela el comportamiento del suelo y del edificio, mediante 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 previos a la intervención (Simulia, 2011). Sin embargo en esta modelación no todos los problemas de patología encontrados tuvieron explicaciones, las que se lograron entender luego de realizar la puesta en valor, al encontrar situaciones estructurales diferentes en las colindancias del edificio.

##### 4.1. Modelación del suelo

Después de los estudios de suelos, se hace importante juzgar el compromiso que presentan las cimentaciones del sistema original. Para ello se recurrió a una modelación en elementos finitos (Plaxis BV, 2004) para fundaciones rígidas mediante elementos triángulos de 15 nodos, Modelo Mohr Coulomb elasto plástico (Figura 5), para lo cual se indujeron deformaciones predefinidas del orden de los 0,02 m correspondientes al valor de la separación del muro de fachada. El elemento triángulo de 15 nodos proporciona una interpolación de cuarto orden para los desplazamientos y la integración numérica implica doce puntos de Gauss (puntos de evaluación de tensiones), con lo que se logra una gran exactitud con el que se ha conseguido resultados de alta calidad en problemas difíciles como por ejemplo en cálculos de hundimiento para suelos incompresibles. Se prefirió la utilización de estos elementos a pesar del consumo relativamente

elevado de memoria y a un rendimiento relativamente lento de los cálculos y las operaciones. En la Figura 6 se presenta la discretización de la malla utilizada.

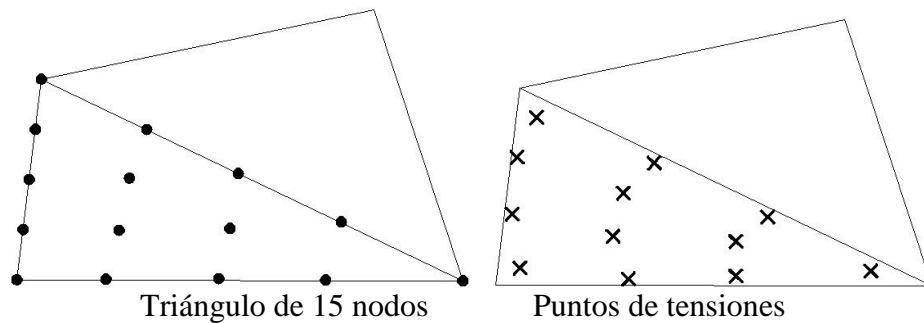
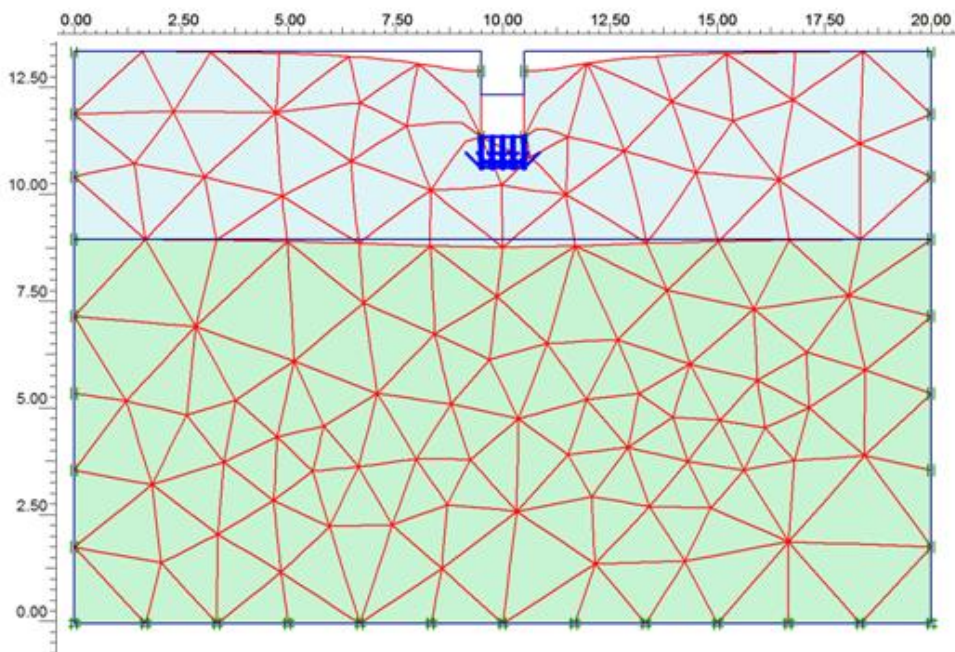


Figura 5. Esquema de elemento tipo de 15 nodos (Plaxis VB, 2004)

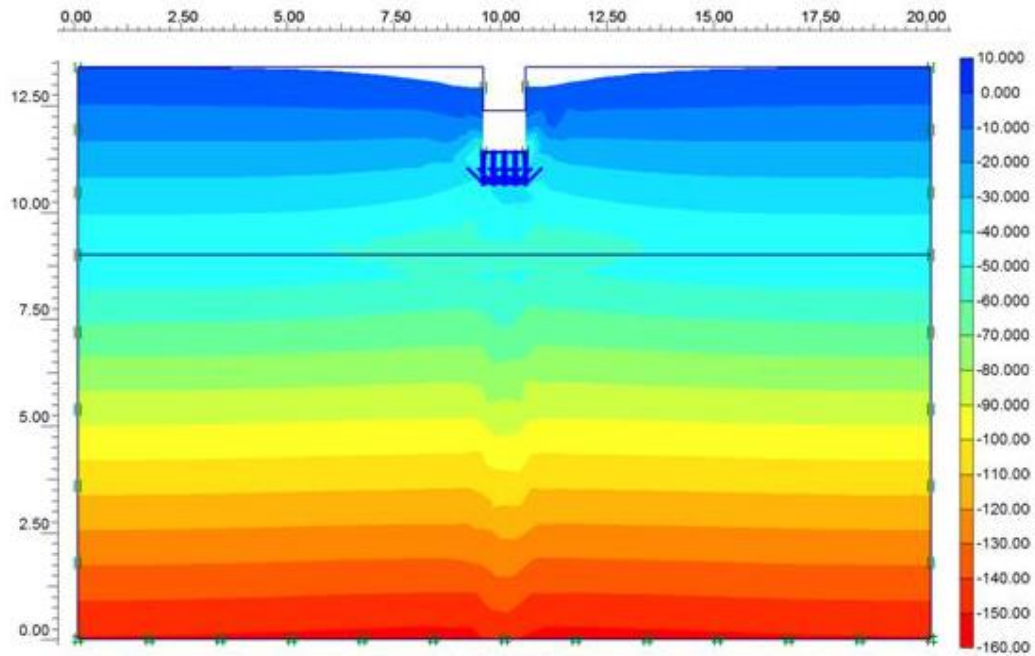
Para obtener la deformación predefinida es necesaria una presión de  $47 \text{ kN/m}^2$  (Figura 7), pero el valor real de presión bajo el muro más comprometido está entre  $112$  a  $115 \text{ kN/m}^2$ , por lo tanto al superarse más del doble del valor para alcanzar la deformación se justifica el estado de daño (Figura 8) y se logra entender el porqué de los agrietamientos de los muros. Por lo tanto es necesario realizar una intervención a nivel fundaciones para mejorar el estado tensional del suelo o la distribución de cargas de las fundaciones. Entre los diferentes métodos de intervención que el estado del arte actual ofrece, se pueden citar procedimientos superficiales, profundos o de mejoramiento de las características geotécnicas del entorno. La elección de uno u otro procedimiento está directamente relacionada al conocimiento del arte y a la oportunidad económica que brinda el medio, adoptándose en este caso un refuerzo de fundaciones a un estrato más resistente mediante pilas de fundación (CeReDeTeC, 2010).



Malla deformada Desplazamiento máximo:  $20\text{E}^{-3}\text{m}$   
Desplazamiento amplificado 50 veces

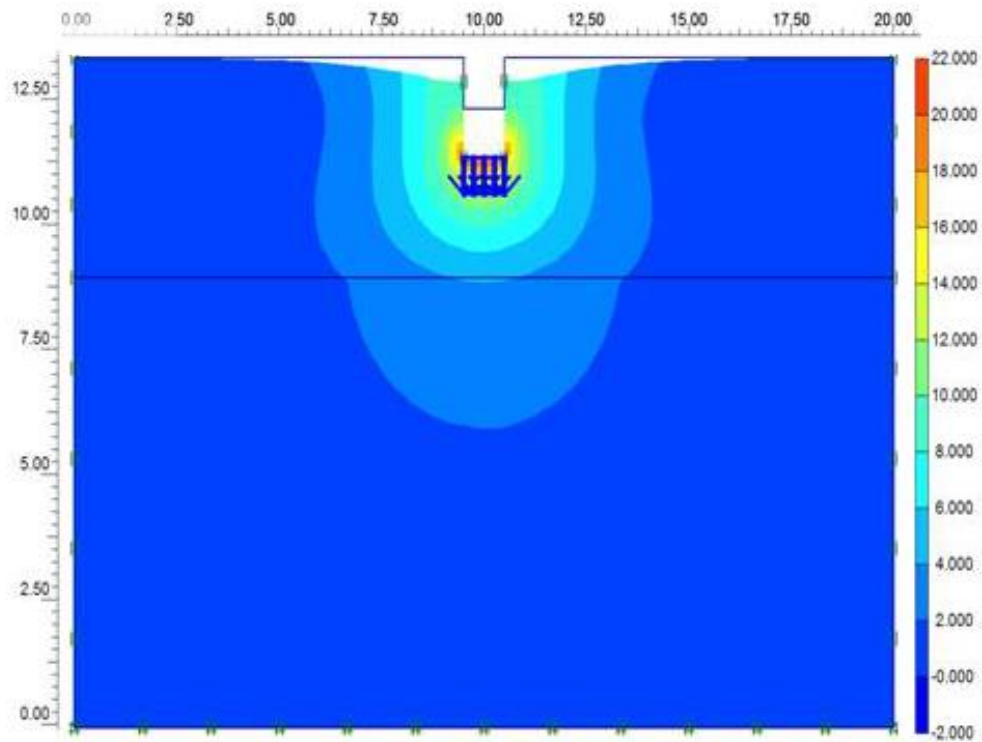
Figura 6. Discretización del suelo mediante elementos finitos y malla deformada





Máxima tensión media: 153.89kN/m<sup>2</sup>

Figura 7. Estado tensional del suelo obtenido mediante método de elementos finitos (Plaxis BV, 2004)



Desplazamiento máximo: 20E<sup>-3</sup>m

Figura 8. Desplazamientos totales del suelo obtenidos mediante método de elementos finitos (Plaxis BV, 2004)

#### 4.2. Modelación de la estructura

La verificación estructural del edificio en una primera etapa, formula un modelo de elementos finitos no lineal, utilizando elementos shell, 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 (Simulia, 2011), por los distintos descensos de apoyo que la misma ha sufrido.

Para representar la estructura se usaron elementos de placa y de barra, considerándose que éstos simularían adecuadamente los aspectos estructurales de interés en este estudio. Las condiciones de contorno del modelo adoptadas fueron restricciones a los desplazamientos en las 3 direcciones coordenadas en las zonas de contacto con la fundación. Las cargas consideradas fueron las gravitatorias por pesos permanentes, predominantes en este tipo de construcciones, y las cargas sísmicas equivalentes, de acuerdo a lo indicado en la normativa vigente (CCSR, 1987).

En la

Figura 9 se presenta el modelo estructural general y el estado de tensiones de la mampostería. 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. En la Figura 10 se puede observar el resultado de la modelación para el daño en arcos y la Figura 11 presenta el desprendimiento de la fachada principal.

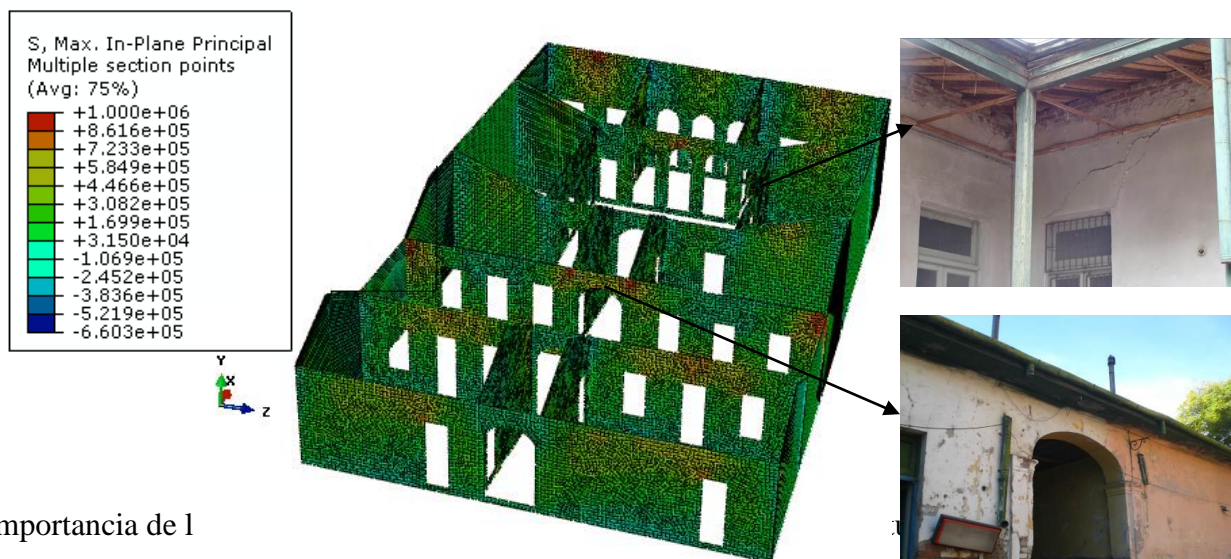


Figura 9. Correspondencia entre modelación de estado tensional y estado de daño del edificio

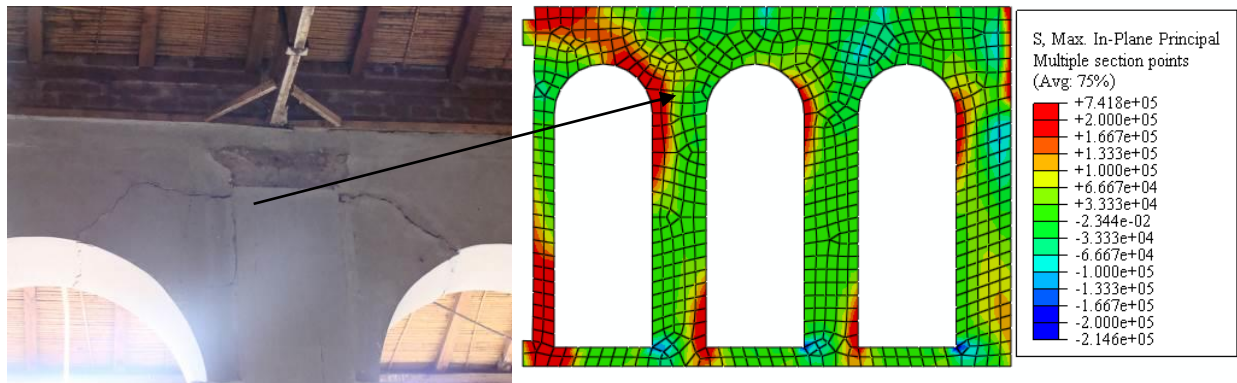


Figura 10. Simulación de daños en arcos de mampostería

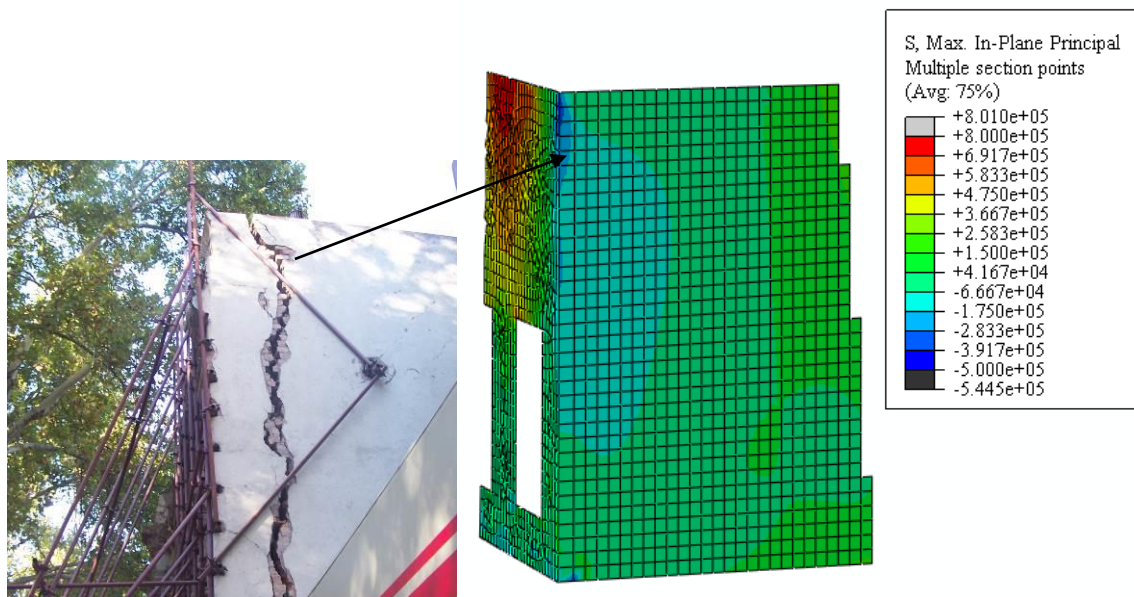


Figura 11. Simulación de daños en fachada por fundación ineficiente

Detectados los daños se propone una estrategia de reparación y refuerzo consistente en:

- Refundar la estructura mediante pilas y vigas portamuros
- Inyección y cosido de fisuras en masa muraria
- Ejecución de un entramado de vinculación mediante perfiles metálicos a nivel de cielorraso
- Estabilización mediante estructuras de apeo metálicas de los tímpanos de mampostería.

Para el diseño y verificación estructural de los refuerzos propuestos se utiliza un software de elementos finitos lineal elástico, que permite el diseño y verificación de la solución propuesta y que permite dimensionar los distintos elementos estructurales (SAP 2000).

A los fines del diseño de los distintos elementos de refuerzo, se considera las siguientes acciones y cargas:

1. DL: Peso propio.
2. SC: Sobrecarga de uso
3. SN: Nieve:
4. EQx: Acción Sísmica en dirección X
5. EQz: Acción Sísmica en dirección Z
6. EQMx: Excentricidad accidental y dinámica sismo en dirección x
7. EQMz: Excentricidad accidental y dinámica sismo en dirección z

Las combinaciones de carga consideradas se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Combinación de estados de cargas

C00	CM+SC+SN
C01	CM+0.25SC+0.5SN+EQx
C02	CM+0.25SC+0.5SN+EQx+EQMx
C03	CM+0.25SC+0.5SN+EQx-EQMx
C04	CM+0.25SC+0.5SN-EQx
C05	CM+0.25SC+0.5SN-EQx+EQMx
C06	CM+0.25SC+0.5SN-EQx-EQMx
C07	CM+0.25SC+0.5SN+EQz
C08	CM+0.25SC+0.5SN+EQz+EQMz
C09	CM+0.25SC+0.5SN+EQz-EQMz
C10	CM+0.25SC+0.5SN-EQz
C11	CM+0.25SC+0.5SN-EQz+EQMz
C12	CM+0.25SC+0.5SN-EQz-EQMz

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.

- Coeficiente zonal: Mendoza  $C_o = 0,30$
- Destino: Se considera el uso público de las instalaciones  $\gamma_d = 1,4$
- Ductilidad: De acuerdo a lo indicado en CCSR'87, se adopta para estructura sismorresistente de mampostería  $\gamma_{du} = 1,3$
- Vinculación: El emparrillado a nivel de cabeza de muros, asegura una vinculación entre todos los planos estructurales, permitiendo que la estructura funcione ante acciones horizontales de un modo monolítico. Se adopta  $\gamma_{vi} = 1,0$ .
- Suelo: De acuerdo a lo informado en el estudio de suelos, la velocidad de onda del suelo en el sector de cabezas de pilas, es de 194 m/s, por lo tanto se adopta un suelo con un coeficiente  $s = 1,2$

Por lo tanto el coeficiente sísmico resulta:

$$C = C_o \cdot \gamma_d \cdot (\gamma_{du} \cdot \gamma_{vi}) \cdot s = 0.6552$$

En la Figura se indica el modelo de elementos finitos elástico lineal utilizado.

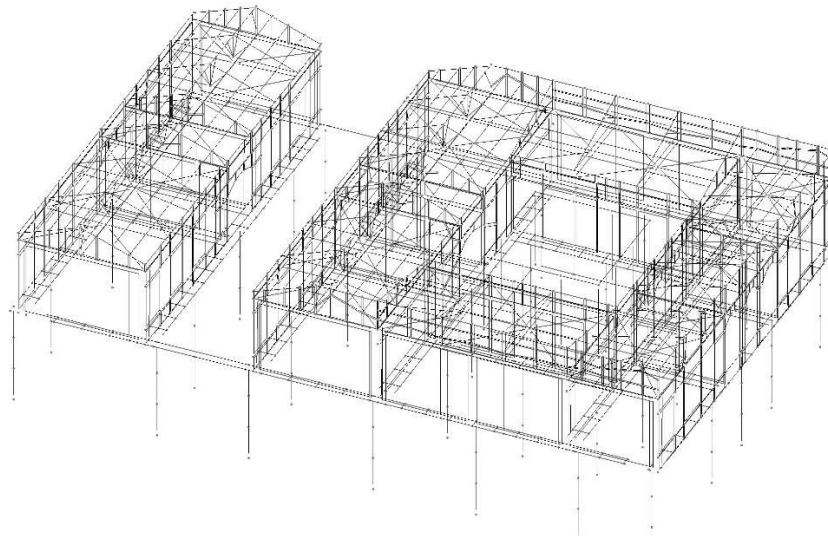


Figura 12. Modelo de elementos finitos elástico utilizado

Una vez definidos los refuerzos se procede a modelar en ABAQUS (Simulia, 2011) la estructura reforzada, para analizar la eficiencia de los mismos sobre la mampostería patrimonial.

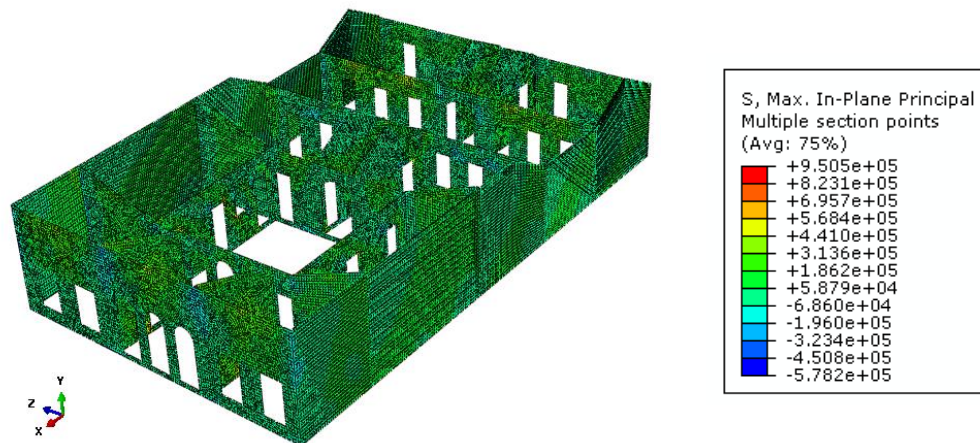


Figura 13. Verificación de la estructura de mampostería una vez reforzada (no se muestran los refuerzos).

Como se observa en Figura el sistema estructural subsistente, en particular la mampostería, mantienen un nivel de tensiones por debajo de su capacidad resistente.

## 5. EVALUACIÓN DE LA PUESTA EN VALOR

La vulnerabilidad actual de una construcción patrimonial puede cuantificarse en base a una simulación numérica con datos de la identificación de sistemas (I.S.) (Calderón, 2013). En este caso, la rehabilitación estructural se encuentra finalizada. La secuencia de ejecución fue por sectores: primero las fundaciones, luego los muros de mampostería y finalmente el entramado rigidizador. La efectividad de la rehabilitación se evaluó a través de I.S. midiendo el periodo del edificio antes, durante y después del refuerzo. Se utilizó el método de detección de picos

(Palazzo, 2002). La Figura 14 presenta la Densidad Espectral de Potencia (PSD), se observa cómo el periodo del muro analizado disminuyó respecto al estado original, un 85% (debido a la reparación de fundaciones y muros) y un 69 % una vez realizado el emparrillado metálico. En la Figura 15 se presentan los resultados obtenidos en otros muros del edificio y pueden notarse resultados similares.

Si bien el funcionamiento estructural es distinto ya que en la estructura original el diafragma es considerado flexible y en la estructura reforzada (con entramado rigidizador) es considerado rígido para la distribución de la acción sísmica, el nivel de aceleración registrado es menor a 0,01 g, lo que hace que la estructura original tenga un comportamiento más parecido a un diafragma rígido, por esta razón es posible evaluar el periodo en cada etapa del refuerzo. Además la medición final del periodo sirve como parámetro de monitoreo pasivo.

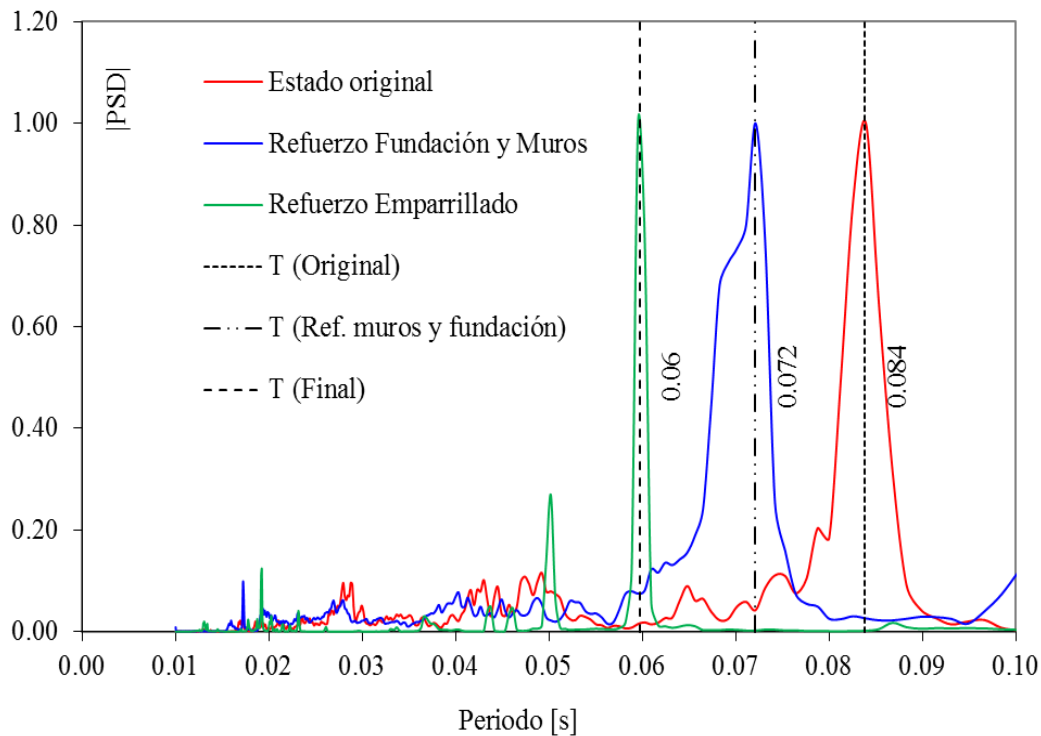


Figura 14. |PSD| muro analizado. Estado original, intermedio y final

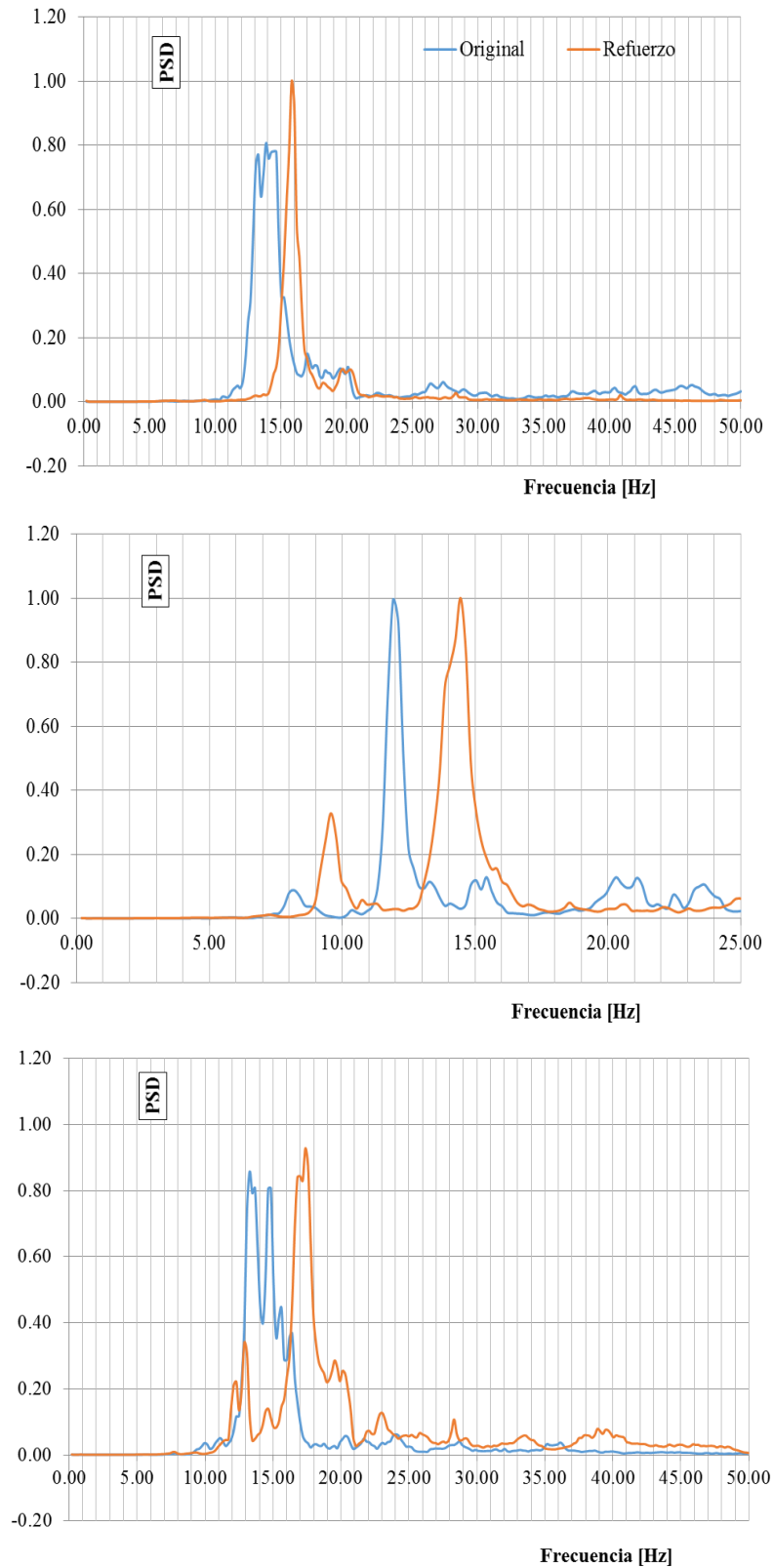


Figura 15. |PSD| muros Norte. Estado original y refuerzo fundaciones y muros.

## 6. CONCLUSIONES

Un análisis de los probables daños en función de la antigüedad de la construcción existente señala una cantidad significativa de unidades escolares a dañarse ante un terremoto de la magnitud máxima esperada ( $M=7,5$ ), ya que fueron construidas con reglamentos que hoy se reconocen como obsoletos, a lo que se suma el envejecimiento propio de los materiales de construcción, con poco o nulo mantenimiento. Por lo tanto, la antigüedad de la construcción como la distribución de la infraestructura de servicios orientan sobre la probabilidad de daños y la valoración de los costos de reposición. Esta información es fundamental para el manejo de riesgo por parte de las autoridades (Doña et al, 2010).

La modelación mediante MEF aplicando modelos constitutivos no lineales, provee una herramienta eficaz para la simulación y verificación de construcciones patrimoniales históricas de mampostería, por lo que resulta necesario la investigación tendiente a la formulación de modelos constitutivos eficientes para mampostería de gran espesor.

La modelación mediante MEF aplicando el modelo constitutivo no lineal de quince nodos Mohr Coulomb para el suelo ha permitido modelar adecuadamente el estado tensional y de deformación, si bien requiere un tiempo de procesamiento mayor.

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. La calibración de modelos es posible a partir de la identificación de frecuencia como en el caso estudiado. Mejores modelos son posibles si se puede determinar las formas modales experimentalmente y obtener parámetros como MAC y COMAC (Allemang y Brown, 1983) que dan una idea de la congruencia entre las formas modales identificadas experimentalmente y las obtenidas en el modelo.

## 7. 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, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y Gobierno de Mendoza. Los autores desean agradecer al personal técnico de la UTN y a los profesionales de la Dirección de Patrimonio Cultural y Museos de la Provincia de Mendoza, que han colaborado en el desarrollo del trabajo.

## 8. REFERENCIAS

ACI 440.7R-10 (2010). "*Guide for the Design and Construction of Externally Bonded Fiber-Reinforced Polymer Systems for Strengthening Unreinforced Masonry Structures*". American Concrete Institute Committee 440.

Allemang, R.J.; Brown, D.L. (1983). "*Correlation coefficient for modal vector analysis*". Proc. 1st Int. Modal Analysis Conference (IMAC-I), pp. 110-116.

Calderón F.A. (2013). "*Evaluación de la vulnerabilidad y el refuerzo estructural de edificios patrimoniales en zonas sísmicas, a través de la identificación de sistemas*". Séptimo Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería EnIDI 2013, Los Reyunos, San Rafael. Mendoza, Argentina. pp.807-8.

CeReDeTeC (2010). "*Informe Técnico Escuela Mitre 15/2010*", p.105.



- Doña, W. J.; Macaluzzo, G.; Silva, C. G.; Leiva, E. L.(2010). "*Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de Mendoza mediante un software específico*". Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza Departamento Ingeniería Civil Proyecto Integrador. p. 213.
- Gobierno de Mendoza. (1987). "*Código de Construcciones Sismorresistentes de la Provincia de Mendoza*". Argentina.
- González del Solar, G., Martín P., Maldonado N. (2013). "*Mampostería Patrimonial: Su Respuesta a Esfuerzo Biaxial*". Séptimo Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería EnIDI 2013, Los Reyunos, San Rafael. Mendoza, Argentina. pp. 168-182.
- Grementieri F., Shmidt C. (2010). *Arquitectura, educación y patrimonio. Argentina 1600-1975*. Pamplatina, Buenos Aires.
- Gómez Voltán, J., (2007). "*Informe 2º Etapa: Diagnóstico y Pronóstico. Ex Escuela Bartolomé Mitre*". AHTER – INCIHUSA – CONICET. p.54.
- INPRES (1986). "*Gran Mendoza, el núcleo urbano expuesto al mayor nivel de riesgo sísmico en la República Argentina*". Publicación Técnica N° 10. Setiembre de 1986. Instituto de Prevención Sísmica.
- INPRES (1989). "*Microzonificación sísmica del Gran Mendoza*". Instituto Nacional de Prevención Sísmica.
- INPRES-CIRSOC 103. (2013) "*Reglamento Argentino de Construcciones Sismorresistentes Tomo I.*". Instituto Nacional de Prevención Sísmica - Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles.
- INPRES-CIRSOC 103. (1983) "*Normas Argentinas para Construcciones Sismorresistentes.Tomo III. Construcciones de Mampostería.*" Instituto Nacional de Prevención Sísmica - Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles.
- 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.
- Maldonado, N.; Martín, P.; Maldonado, I.; Pagano, D. (2013). "*Evaluación postsísmica de la seguridad estructural de construcciones patrimoniales*". Memorias XII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XIV Congreso de Control de Calidad en la Construcción CONPAT-Colombia. Octubre de 2013. pp. P 751 - 760
- Palazzo, G.L. (2002). Tesis de maestría. "*Identificación del daño estructural a través del cambio en las propiedades dinámicas*". Universidad Nacional de Tucumán.
- PLAXIS VB. V.7.2. 2004.
- SAP 2000 (2000). "*User manual*" Computers and Structures, Inc.
- Simulia. "*Abaqus Analysis User's Manual, 6.11*". Dassault Systèmes Simulia Corp, 2011.