

CARACTERIZACIÓN DE DAÑOS SOBRE ESTRUCTURAS OCASIONADOS POR EL SISMO DEL 07 DE SETIEMBRE DE 2004

Carlos A. Rodríguez

Ingeniero Civil – Magíster en Ingeniería Estructural – Docente e Investigador del
Instituto de Estructuras “Ing. Arturo M. Guzmán”. (Universidad Nacional de
Tucumán)

Oscar Dip

Ingeniero Civil – Magíster en Ingeniería Estructural – Docente e Investigador del
Instituto de Estructuras “Ing. Arturo M. Guzmán”. (Universidad Nacional de
Tucumán)

Enrique E. Galíndez

Ingeniero Civil – Mestre en Engenharia Civil– Director del Instituto de Estructuras
“Ing. Arturo M. Guzmán” (Universidad Nacional de Tucumán)

RESUMEN

En este trabajo, se presenta la caracterización de los principales daños estructurales acaecidos en diversos tipos de edificaciones ubicadas en la zona cercana al epicentro del Sismo del 07 de Septiembre de 2004, en la provincia de Catamarca, República Argentina.

La mencionada caracterización, proviene del procesamiento de los datos obtenidos en inspecciones técnicas de carácter interdisciplinario que realizara personal del Instituto de Estructuras de la Universidad Nacional de Tucumán en conjunto con la Dirección Nacional de Arquitectura, durante un período de tres años, en los departamentos Centro, Esquiú, Pomán, Ambato, Capayán, Valle Viejo, Tinogasta y Andalgalá de dicha provincia. La población estudiada comprende desde viviendas familiares hasta edificios considerados de alto valor patrimonial tales como el Seminario Diocesano San Juan Bautista y Virgen del Valle como así también la Catedral Basílica Nuestra Señora del Valle, Monumento Histórico Nacional.

Es propósito de este trabajo, contribuir divulgando e identificando los diferentes daños de origen sísmico, como así también, alertar sobre los factores que originaron su aparición.

Abstract:

The characterization of the main structural damages on diverse buildings construction located of the city of San Fernando del Valle de Catamarca, and nearby areas, as a consequence of September 7th 2004 earthquake in the Catamarca province, Argentina, are showed.

This characterization comes from the data obtained during the technical inspections carried on the Structures Institute of the National University of Tucumán and Architecture National Office staff. The tasks inspections was made along three years in the Centro, Esquiú, Pomán, Ambato, Capayán, Valle Viejo, Tinogasta y Andalgalá departments of the Catamarca province.

The sample includes several class of building like housing, schools hospitals, churches and historical national monument.

The main gol of this paper is to identify the different seismic damages and alerts about the factors that originated their appearance.

Introducción

El terremoto del 7 de Septiembre de 2004 de 6.5 grados de magnitud y sus múltiples réplicas, produjeron daños significativos en numerosas estructuras que se encontraban en las adyacencias de su epicentro, el cual, fue ubicado por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica, INPRES, en las proximidades de la localidad de la población de Los Ángeles distante a 51,7 Km. en dirección Sud Oeste de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca.

El evento principal, tuvo corta duración, con apenas unos pocos pulsos de frecuencias muy altas, razón por la cual, no originó respuesta cíclica en las estructuras. Su mecanismo focal, orientado en sentido Norte – Sur, originó una marcada directividad de los daños observados en las estructuras en sentido Este – Oeste. En la Figura 1 se muestra una vista aérea de la zona epicentral ubicada en las estribaciones de la Sierra del Ambato.



Figura 1

Tras la ocurrencia del evento sísmico, personal idóneo para este tipo de tareas del Instituto de Estructuras “Ing. Arturo M. Guzmán” de la Universidad Nacional de Tucumán ^{1,2,3,4,5,6,7,8,9}, formó parte de la comitiva nacional presidida por el INPRES que llevó a cabo diversas evaluaciones estructurales en la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, las que luego se extendieron en base a convenios con el Obispado de Catamarca y la supervisión de la Dirección Nacional de Arquitectura, a una importante población de edificaciones ubicadas en la zona cercana al epicentro en los departamentos San Fernando, Valle Viejo, Capayán, Esquiú, Andalgalá,

Pomán y Tinogasta. Dicha región con aproximadamente 40.523 km², representa el 39,5 % de la superficie de Catamarca y contiene el 73 % de la población de toda la provincia.

El clima en la región varía de Tropical Serrano en el centro a Árido de Sierras y Bolsones hasta Árido del Andino Puneño en el Oeste y sus temperaturas alcanzan rangos extremos tanto en el verano como en el invierno.

Para realizar este relevamiento, la comitiva integrada por ingenieros estructurales, mecánicos del suelo, arquitectos y agrimensores recorrieron más de 4.500 kilómetros atravesando badenes, superando cuestras y transitando caminos de montaña de gran belleza paisajística. La Figura 2 muestra el tránsito de uno de los móviles utilizados y en el margen derecho se resalta en color azul la región analizada.



Figura 2

Tipología estructural de las edificaciones que conforman la muestra

La totalidad de sesenta y tres edificaciones que integran la muestra relevada, se conforma por estructuras concebidas para soportar acciones de naturaleza gravitatoria, sin previsiones sismorresistentes. Dentro de dicha muestra, se encuentran viviendas, escuelas, capillas, hospitales, iglesias, albergues, y monumentos históricos nacionales (Iglesia Catedral Basílica Nuestra Señora del Valle). Las edificaciones fueron construidas en diferentes períodos de tiempo comprendidos entre los siglos XVIII al XX, utilizando materiales y técnicas constructivas muy heterogéneas. Un ejemplo de lo antes dicho, se muestra en la Figura 3, donde se observa la sacristía de la Iglesia Nuestra Señora de Luján, ubicada en la localidad de Huillapima, Departamento Capayán.



Figura 3

Principales daños ocasionados por la acción sísmica

La Figura 4, muestra sobre un esquema de la estructura de una vivienda tipo de la zona, los trece daños ocasionados por la acción sísmica, constatados con mayor frecuencia, durante el relevamiento estructural realizado sobre la muestra analizada.

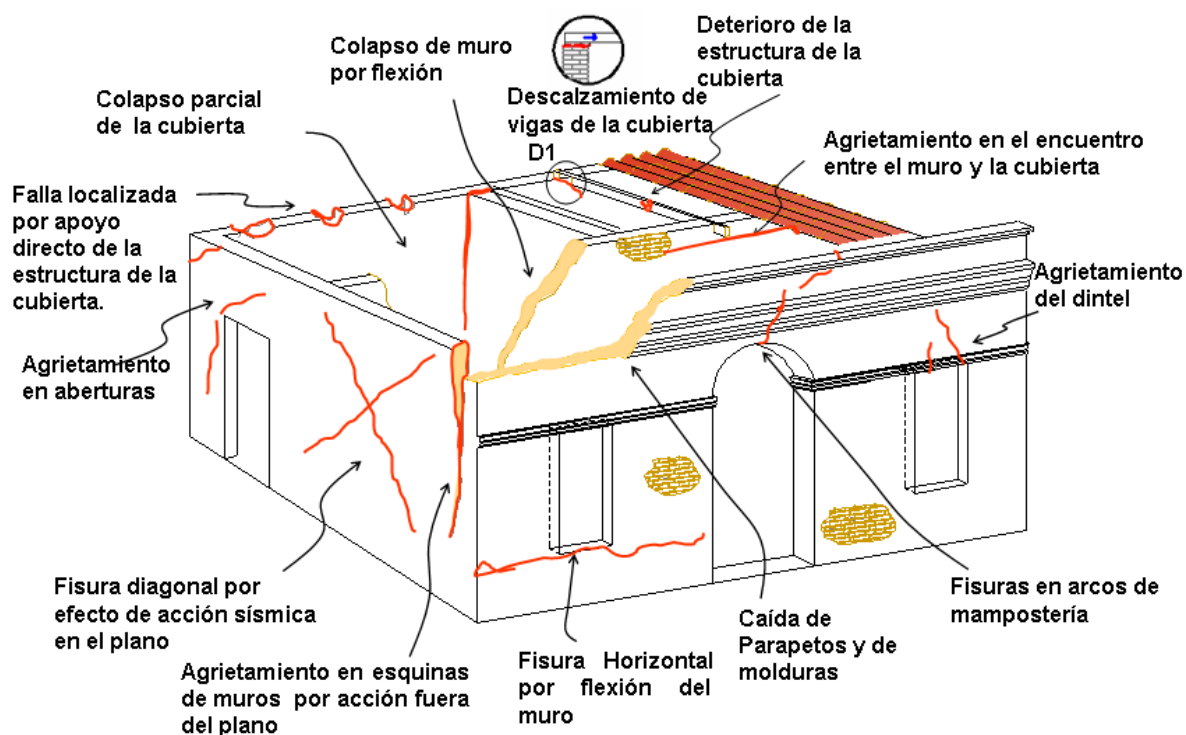


Figura 4

En general, las estructuras sufrieron daños en elementos estructurales que se consideran vulnerables frente a las acciones sísmicas, como ser las cubiertas donde el daño normalmente se incrementa cuando estas son pesadas y también en los muros portantes.

Principalmente los daños se ubican en las uniones muro - muro y muro - cubierta y en las cercanías de sus aberturas, debido a que carecen de detallamiento apropiado para resistir esfuerzos o deformaciones ocasionados por tracción o porque en algunos casos, se sobrepasa la tensión admisible de compresión en el material.

Adicionalmente a ello, se observan daños propiciados por el deterioro de los elementos y componentes estructurales, debido a una escasa a nula política de mantenimiento. Finalmente, también se observan daños ocasionados por intervenciones antrópicas incorrectas o vicios ocultos constructivos, que quedaron expuestas tras las acciones sísmicas

En el caso de aquellas estructuras de gran porte, como son los templos que integraban la muestra, se registraron importantes patrones de agrietamiento en aquellos sectores donde se presentan cambios de rigidez en altura, principalmente en los encuentros de las naves de las iglesias con las torres de sus campanarios. Como así también, fue muy frecuente observar en la parte superior de los mismos agrietamientos horizontales en la base y cabeza de las pilastras del campanario. En la Figura 5, se esquematiza los patrones de agrietamiento observados junto a las acciones asociadas que las originaron.

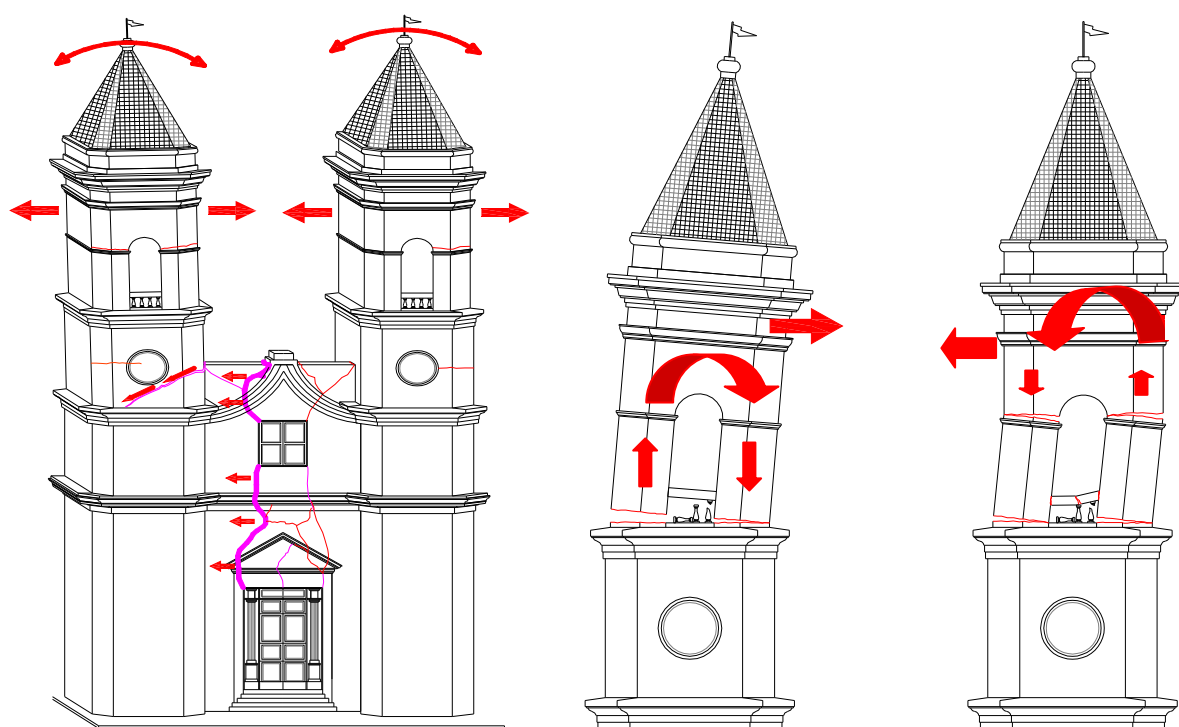


Figura 5

Colapso Parcial de la Cubierta: Este daño se registro principalmente en aquellas edificaciones cuya estructura de cubierta se encontraba deteriorada por la acción de la humedad, agentes bióticos, vejez de los materiales y completa falta de mantenimiento. La Figura 6 muestra la caída de un sector de la cubierta en el edificio del Ex hospital San Juan Bautista en la ciudad de S. F. del Valle de Catamarca.



Figura 6

Descalzamiento de apoyos de elementos portantes de la cubierta: Es consecuencia de que las vigas o cerchas de las cubiertas (generalmente con secciones deterioradas) se encuentran directamente apoyadas sobre los mampuestos del muro portante y también por la oscilación de los muros frente a la acción sísmica. La Figura 7 muestra un detalle de éste muy frecuente tipo de daño.

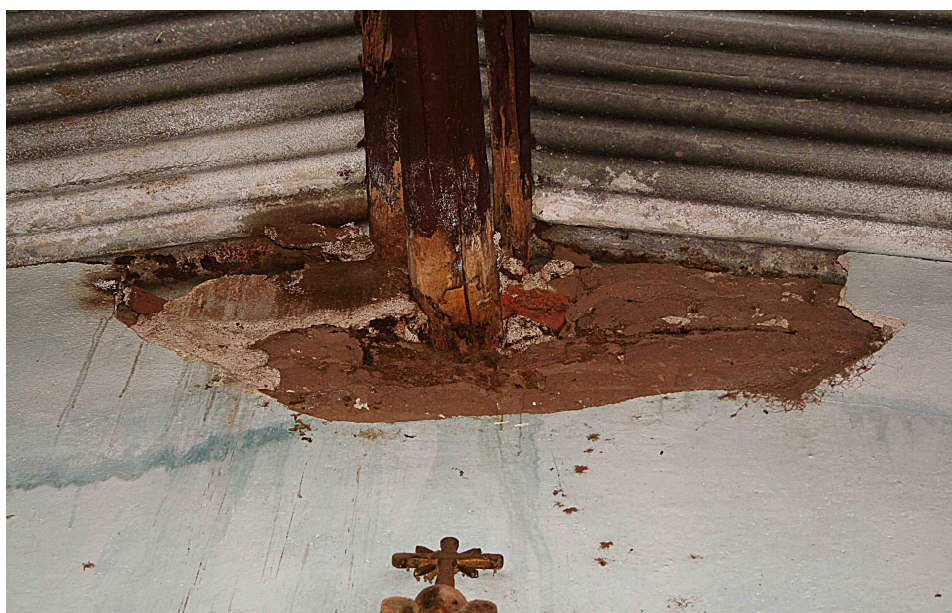


Figura 7

Falla localizada por apoyo directo de la estructura de cubierta: Consecuencia del martilleo de las vigas y cerchas sobre el muro, que produce un debilitamiento severo de aquellos mampuestos que soportan la cubierta, que son rotos y hasta a veces ocasionan su peligrosa caída desde altura. La Figura 8 muestra en detalle este tipo de daño, que generalizado, puede ocasionar el colapso de la cubierta.



Figura 8

Desencastre en las uniones de las cerchas: La técnica de encastre utilizada en los componentes estructurales de las cercha, de espiga y cajón se desencastra frente a las acciones sísmicas, producto del deterioro y la falta de mantenimiento. La Figura 9 muestra este tipo de daño que ocasiona importantes deformaciones sobre la cubierta que pueden ocasionar su colapso,



Figura 9

Agrietamiento en el encuentro entre el muro y la cubierta: Se origina por la inadecuada vinculación entre los componentes de la cubierta y el muro portante, principalmente por la ausencia de una viga perimetral. La Figura 10, muestra el agrietamiento entre la cubierta de bovedillas de mampostería y perfiles metálicos con un muro de mampostería esbelto en el Seminario Diocesano de Catamarca.



Figura 10

Agrietamientos en dinteles: Se presenta principalmente en aquellos dinteles que fueron contruidos mediante la técnica de colocación de mampostería en sardinel vinculados entre sí mediante morteros débiles, de barro o cal. La Figura 11 muestra un dintel colapsado de una vivienda ubicada en la localidad de Tres Puentes, Departamento Valle Viejo, en las adyacencias de S. F. del Valle de Catamarca.



Figura 11

Agrietamientos en Arcos de Mampostería: Se ocasionan debido a que las acciones sísmicas originan tensiones de tracción en el plano del arco. Los mampuestos que los conforman, se encuentran asentados sobre morteros débiles que propician este tipo de falla. La Figura 12 muestra el colapso de un arco de la galería de la Casa de Retiros Espirituales ubicada en la localidad de El Rodeo.



Figura 12

Agrietamiento horizontal por flexión fuera del plano del muro: Este tipo de falla se origina cuando las acciones sísmicas solicitan el elemento estructural fuera de su plano. En la Figura 13 se muestra una fisura horizontal que afecta a todo el desarrollo de un grueso muro portante de adobe y piedra, asentado en barro, de la capilla del Colegio FASTA en la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca.



Figura 13

Colapso de Muros por flexión en el plano: En algunos casos de muros de adobe asentados en barro de gran desarrollo sin pilastras de refuerzos y esbeltos, se ocasionaron derrumbes tales como los muestra la Figura 14 perteneciente a una vivienda ubicada en la Ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca.



Figura 14

Fisuras diagonales por efecto de acción sísmica en el plano: El comportamiento cíclico de las acciones sísmicas, origina grietas por tracción diagonal en muros de mampostería, pues estos no poseen respuesta dúctil. Se las identifica como fisuras diagonales (fisuras en forma de "X"). La Figura 15 muestra la galería de una vivienda en la localidad de Los Ángeles, Catamarca, epicentro del terremoto del 07 de Septiembre de 2004:

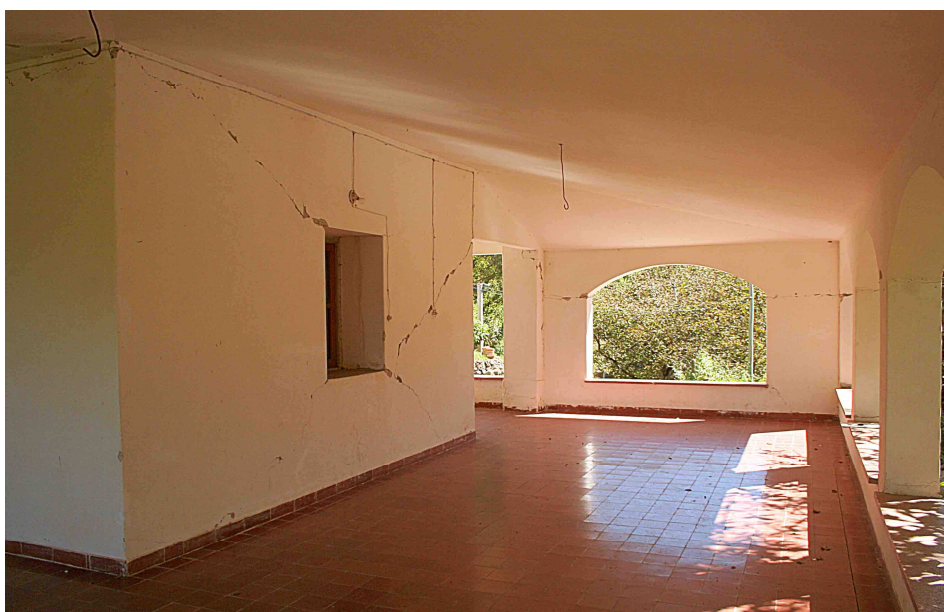


Figura 15

Agrietamientos en encuentros de muros por acciones fuera del plano: Como consecuencia de deterioro o ausencia de trabas adecuadas en las uniones de muros de mampostería, se produce la separación de los mismos en sus encuentros, dando lugar a pérdida de plomo o incluso al volcamiento de éstos. La figura 15 muestra dos viviendas afectadas por este tipo de daño en el Departamento Capayán, Catamarca



Figura 16

Agrietamientos en muros en las cercanías de las aberturas: Este daño tiene lugar debido a la concentración de tensiones por la redistribución de cargas en correspondencia con las aberturas. La Figura 17 muestra en una vivienda de Valle Viejo que las hiladas de mampostería situadas debajo del dintel de la puerta, se han desvinculado del muro, dando lugar a una escarpa del orden de dos centímetros.



Figura 17

Caída de Parapetos: Con frecuencia fue posible constatar la caída de parapetos, balaustres, pináculos y demás elementos de ornamentación de las fachadas. El daño se origina principalmente por deficiencias en la conexión o por incompatibilidad de deformación entre el elemento y la estructura de base. La Figura 18 muestra la caída de parapetos en viviendas ubicadas en una calle del centro de Valle Viejo



Figura 18

Agrietamientos en sectores de cambio de rigidez en altura: Debido a la diferencia de comportamiento frente a las acciones dinámicas de elementos estructurales de diferente rigidez en altura, se producen importantes agrietamientos en sus uniones. La Figura 19 muestra este tipo de daño en la fachada del Seminario Diocesano de Catamarca San Juan Bautista y Nuestra Señora del Valle.



Figura 19

Agrietamientos en cabezas y pies de pilastras de campanarios: La causalidad de esta tipología de daño de aparición muy frecuente en los campanarios y en las pilastras de arcos de mampostería, ha sido esquematizado en la Figura 5 de este trabajo. La Figura 20 muestra un sector del campanario de la Capilla de San Antonio en la localidad de Coneta, Departamento Capayán, Provincia de Catamarca.



Figura 20

Otras Patologías Relevadas

Durante las tareas de relevamiento fue posible constatar daños originados por otras patologías ajenas a las acciones sísmicas, tales como, actividad biótica deletérea, (Ver Figura 21), exposición a los agentes atmosféricos (Ver Figura 22), asentamientos diferenciales en las cimentaciones (Ver Figura 23) y el ascenso higroscópico de la humedad del terreno (Ver Figura 24)



Figura 21



Figura 22



Figura 23



Figura 24

Finalmente, se debe destacar que las intervenciones estructurales realizadas sobre los edificios (actividad antrópica), no siempre han resultado beneficiosas para la estructura ni para el estilo arquitectónico con que éstos fueron construidos originalmente, pues se pudo constatar durante la inspección, que las mismas se realizaron a lo largo del tiempo principalmente como intervenciones puntuales, inconexas y reactivas sobre las edificaciones y con una marcada ausencia de criterio estructural.

La Figura 25 muestra a la izquierda diversas intervenciones sobre un muro ubicado dentro de la sacristía de la Iglesia Nuestra Señora de la Candelaria en la localidad de Saujil, Departamento Pomán, Catamarca. Mientras que en la derecha de dicha imagen, se observa una intervención estructural de dudosa eficacia como refuerzo, compuesta de un entramado de columnas y vigas de hormigón armado, sobre el muro testero de la Iglesia Nuestra Señora de Luján, en la localidad de Huillapima, Departamento Capayán, Catamarca.



Figura 25

Conclusiones

En este trabajo se han presentado los daños más frecuentes observados en edificaciones sin previsiones sismorresistentes ubicadas en la zona epicentral y sus adyacencias, ante las acciones sísmicas que afectaron la provincia con posterioridad al terremoto del 07 de Septiembre de 2004 con la finalidad de que los mismos sean fácilmente identificables.

El análisis de los edificios que conforman la muestra analizada, permitió constatar que los daños pueden calificarse mayoritariamente dentro de la franja de Moderado a Severo, (65%), mientras que también dentro de la misma, existen casos donde se produjeron Colapsos Parciales (10%), todo ello confirma la alta vulnerabilidad de este tipo de construcciones frente a las acciones sísmicas.

Si a este hecho, se le agrega que las características del terremoto de Septiembre de 2004, no alcanzó los Niveles de Demanda Sísmica probables para la región, que establece la Normativa Vigente INPRES CIRSOC 103, puede inferirse entonces que el grado de riesgo sísmico de esta provincia es elevado.

Recomendaciones

En virtud de las conclusiones obtenidos en el relevamiento realizado, se considera necesario, que el estado ejerza un rol tutelar y protagónico frente a esta problemática, implementando acciones concretas destinadas a construir una cultura de prevención en la población, destinada a salvaguardar su integridad, sus bienes y muy particularmente a conservar el vasto patrimonio arquitectónico cultural que posee la provincia de Catamarca.

Adicionalmente, considerando la gran cantidad de construcciones de mampostería existentes en dicha zona, resulta necesario la elaboración de una Guía de Evaluación y Rehabilitación que fije criterios para identificar los daños, defina los distintos niveles de los mismos y proponga alternativas de rehabilitación para este tipo de edificaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. C. A. Rodríguez, O. Dip, R. Benito, D. Condorí, E. Galíndez “Evaluación Postsísmica de edificaciones de alto valor arquitectónico” El caso de la Catedral de Catamarca en XIX Jornadas de Ingeniería Estructural, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. Octubre de 2007.
2. C. A. Rodríguez, O. Dip, E. Galíndez “Evaluación, diagnóstico y propuesta de rehabilitación del edificio del seminario diocesano de la provincia de Catamarca, argentina” en IX Congreso de Patología Estructural, Quito, Ecuador. Septiembre de 2007.
3. C. A. Rodríguez, O. Dip, G. Aráoz, E. Galíndez “Relevamiento y Evaluación del Estado de Templos en la Provincia de Catamarca” en VI Jornadas de Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio, LEMIT, Ciudad de La Plata, Buenos Aires, Argentina. Septiembre de 2007.

4 E. Galíndez, O. Dip, C. Rodríguez, A. Molina Treviño en "Evaluación de daños en estructuras de mampostería sin reforzar" en VII Encuentro de Investigadores de Profesionales Argentinos de la Construcción (EIPAC). Salta, Argentina, Mayo de 2007

5. C. Rodríguez, O. Dip, E. Galíndez Evaluación Estructural del Edificio del Seminario Diocesano de la Provincia de Catamarca. En V Jornadas de Restauración y Conservación del Patrimonio, LEMIT, Ciudad de La Plata, Buenos Aires. Argentina, Septiembre de 2006.

6. C. Rodríguez, O. Dip, R. Benito, E. Galíndez, "Principales patologías estructurales en templos y monumentos históricos del noroeste argentino" en, VIII Congreso Latinoamericano de Patología Estructural, y X Congreso de Control de Calidad en la Construcción, Asunción del Paraguay, Paraguay, Septiembre de 2005.

7. C. Rodríguez, O. Dip y E. Galíndez "Técnicas utilizadas en la evaluación de Patologías en Monumentos Históricos" En "Intervenciones en Estructuras de Edificios de Valor Patrimonial" Centro Internacional para la Conservación del Patrimonio (CICOP) en la Sala de Representantes, Manzana de Las Luces, Buenos Aires, Argentina, Noviembre de 2005.

8. C. Rodríguez, O. Dip, R. Benito, E. Galíndez, "Evaluación de daños en edificios históricos, el sismo del 7/9/04 en la provincia de Catamarca" en: IV Jornada sobre Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio, LEMIT, Ciudad de La Plata, Buenos Aires, Argentina. Junio de 2005.

9. C. Rodríguez, O. Dip, R. Benito, E. Galíndez "Patología de Cimentaciones y Sistemas de Recalce y Consolidación del Templo de San Francisco, Tucumán" en: XXIX Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Punta del Este Uruguay, Noviembre de 2000.