

# EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE PATOLOGÍAS DE UN EDIFICIO PATRIMONIAL DEL MINISTERIO DE SALUD DE LA NACIÓN (ARGENTINA)

**Susana B. Gea** - Ing. en Construcciones, Salta<sup>(1)</sup> – Prof. Asociada Hormigón Armado I – Responsable del Laboratorio de Estructuras

**Mario W. E. Toledo** - Ing. en Construcciones, Mg. en Ing. Estructural, Salta<sup>(1)</sup> – Jefe de Trabajos Prácticos Construcciones Metálicas y de Madera – Coordinador de los Laboratorios de Ingeniería Civil

**Liz G. Nallim** – Ing., Dra. en Ingeniería - Salta<sup>(1) (2)</sup> – Prof. Adjunta Estabilidad II – Directora del Instituto de Ingeniería Civil y Medio Ambiente de Salta – Investigadora Asistente del CONICET

<sup>(1)</sup> Facultad de Ingeniería, Consejo de Investigación, Universidad Nacional de Salta.

<sup>(2)</sup> CONICET

## Resumen

En este trabajo se presenta el estudio y diagnóstico de las patologías que afectaron a un edificio del Ministerio de Salud de la Nación, constituyendo la primera etapa en el proyecto de refuerzo y rehabilitación de dicho edificio. Su estructura está constituida por elementos de hormigón armado y mampostería de relleno, fue construido en la década de 1930 en la ciudad de Salta, Argentina y es considerado de valor patrimonial. El relevamiento de la estructura se realizó por medio de ensayos no destructivos. A partir del relevamiento de daños y del estudio de las características de fundación y del terreno se efectuó el diagnóstico correspondiente, en forma cualitativa.

Con las propiedades mecánicas y características geométricas de la estructura relevada se realizó la modelación numérica tridimensional con elementos finitos. El desarrollo en el tiempo de la secuencia de patologías fue introducido como desplazamientos impuestos y redistribución de cargas en la estructura modelada, lo que permitió verificar el diagnóstico efectuado en primera instancia.

## Abstract

*This paper presents the assessment and diagnosis of the existing pathologies in an ancient building of the National Health Ministry as the first stage of its future rehabilitation and reinforcement. Its bearing structure consists of nonductile reinforced concrete frames with masonry infill walls, it was built in Salta in the 1930's and is considered a patrimonial building. Non destructive tests were made in order to depict the existing structure. Qualitative diagnosis was made by means of surveying and plotting damages and degradation and determining the characteristics of the foundations and soil.*

*Numerical three-dimensional modeling with finite elements was made with the structure's mechanical properties and geometrical characteristics. Prior diagnosis was verified by modeling the sequence of damage, which was introduced as imposed displacements and load redistribution in the modeled structure.*

## 1. GENERALIDADES

El edificio del Ministerio de Salud de la Nación ubicado en la calle Gral. Güemes 125 de la ciudad de Salta presenta marcadas patologías, puestas de manifiesto a través de un elevado número de fisuras en sus muros.

Existen sectores con un nivel de fisuración tan elevado que fueron desalojados y clausurados por razones de seguridad en septiembre de 2006.

Con el propósito de evaluar los daños, efectuar el diagnóstico de los mismos y proponer los refuerzos estructurales correspondientes, se convocó la participación de los profesionales y técnicos del I.C.M.A.Sa.

Por otra parte, la obra se encuentra situada en zona de elevada peligrosidad sísmica, de acuerdo al Reglamento INPRES-CIRSOC 103 (INPRES, 1983).

Paralelamente, la edad del edificio le otorga valor histórico, si bien no reconocido formalmente, sí apreciado por la comunidad salteña por esta característica, ya que su construcción data de la década de 1930.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

Edificio de dos plantas (Figuras 1, 2 y 3), en donde actualmente funcionan dependencias de:

- Control Nacional de Vectores
- Centro Nacional de Reconocimientos Médicos
- Instituto Nacional de Investigaciones Nutricionales
- Delegación Sanitaria Federal
- Unidad Sanitaria Salta.



Figura 1: Fachada

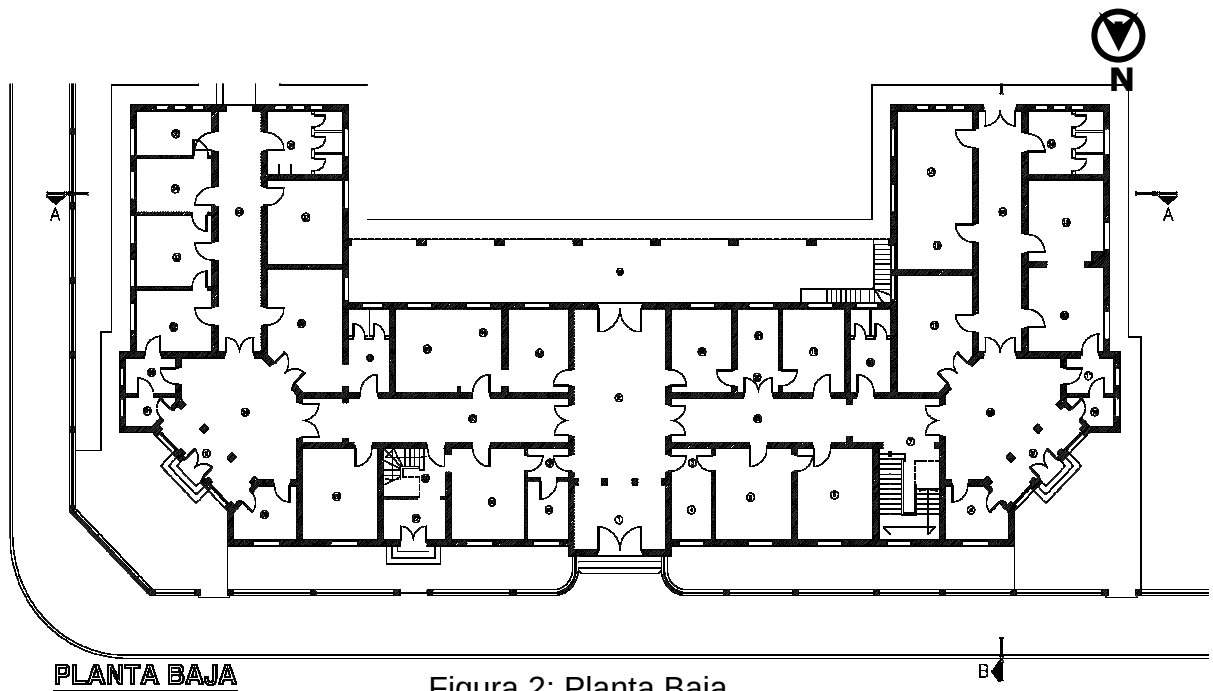


Figura 2: Planta Baja

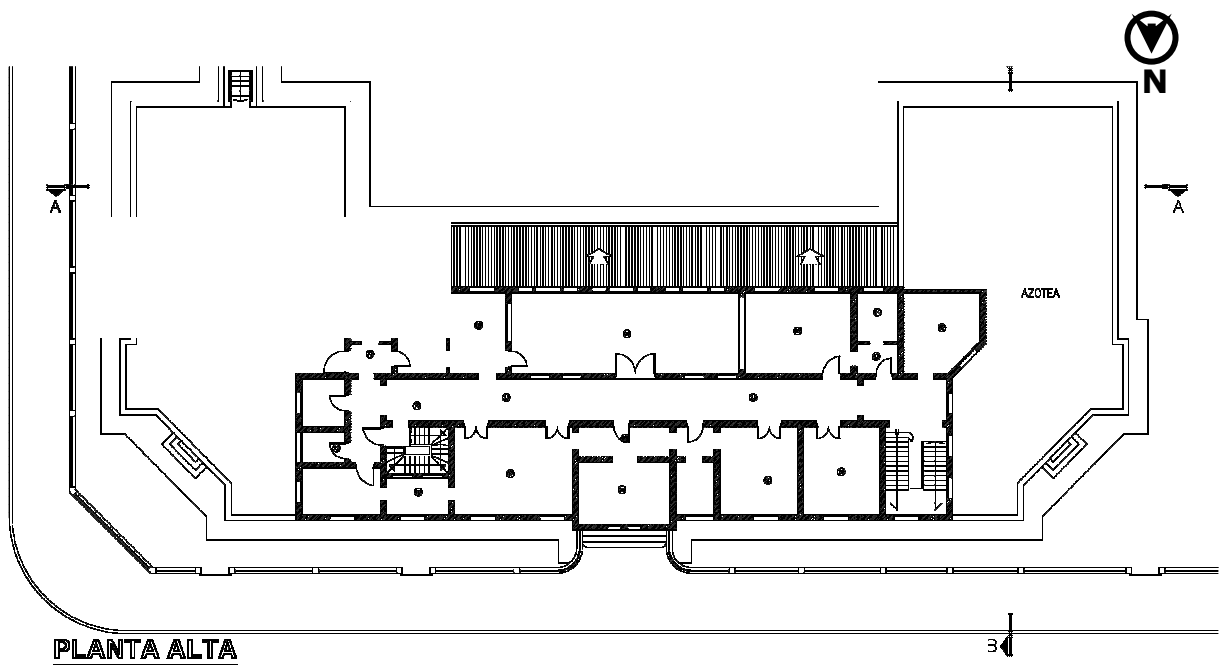


Figura 3: Primer Piso

### **3. ESTUDIOS Y TAREAS REALIZADOS PARA EL DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL**

Fueron confeccionados los planos de relevamiento arquitectónico de los edificios y el estudio de las características mecánicas del terreno.

Simultáneamente se realizó el relevamiento de tipologías de materiales y ubicación de elementos resistentes: cimientos bajo muros y bajo columnas, mampostería y estructura de hormigón armado, acero y madera.

Se volcó en planos los patrones de fisuración y otras patologías (humedad, hundimientos, deformaciones, entre otros)

Se ensayó en laboratorio a compresión muestras de las unidades de mampostería (ladrillos macizos) y a tracción por compresión diametral testigos de mampostería.

La calidad del hormigón de las columnas fue evaluado mediante esclerometría, presentando una gran dispersión en las resistencias obtenidas. El acero empleado en el hormigón está constituido por barras lisas de acero dulce.

A fin de analizar el comportamiento de la estructura bajo cargas gravitatorias y sobrecargas de servicio y evaluar las características dinámicas de la misma, se procedió a realizar una modelación numérico computacional con los datos obtenidos en las auscultaciones realizadas.

El análisis se llevó a cabo utilizando el programa SAP 2000 versión 10.1 (CSI, 2005) de cálculo estructural basado en el método de elementos finitos.

Se efectuó además la evaluación cualitativa de la vulnerabilidad sísmica estructural del edificio, por medio de los métodos japonés (Hirosawa, 1992) y de Shiga (Shiga, 1977), ambos adaptados a las construcciones locales (Gea et al. 2002), (Boroschek et al. 1995)

### **4. INFORMACIÓN OBTENIDA A PARTIR DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS**

#### **4.1. Inspección visual**

De la observación general de los edificios se puede sintetizar lo siguiente:

##### **4.1.1. Planta baja.**

El edificio presenta un sector con pisos hundidos, elevada humedad en algunos muros, muchos de ellos con una marcada fisuración y separación visible entre estos y las columnas, con actividad en las fisuras, en el denominado como "Sector 1" en el croquis de la Figura 4.

El Sector 2 (Figura 4) presenta daños leves en muros y fisuras pequeñas entre estos y las columnas.

El Sector 3 (Figura 4) presenta un nivel muy elevado de fisuración en muros y separación entre estos y columnas, con pisos hundidos. Las fisuras, aparentemente, dejaron de ser activas. Se trata del Sector cuyo ingreso ha sido clausurado.

En todos los casos, los mayores niveles de daños se presentan en las proximidades de los grupos de sanitarios.

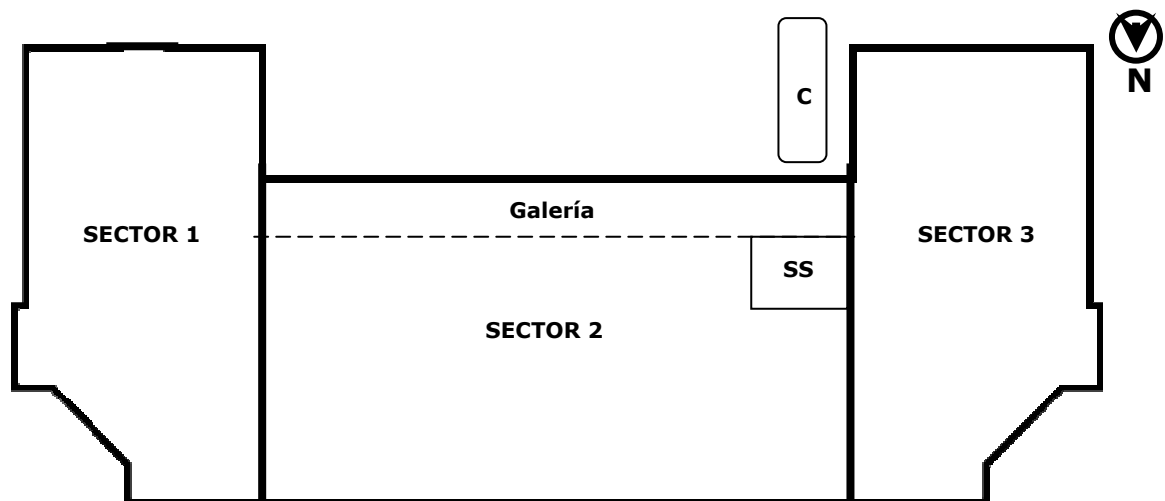


Figura 4  
División de la planta baja del edificio en sectores

#### 4.1.2. Primer piso.

Se observa un sector con un elevado nivel de daños en muros, que se denomina Sector 5 (Figura 5).

El resto del primer piso presenta fisuras moderadas sobre la fachada Este y leves en el resto del Sector 4.

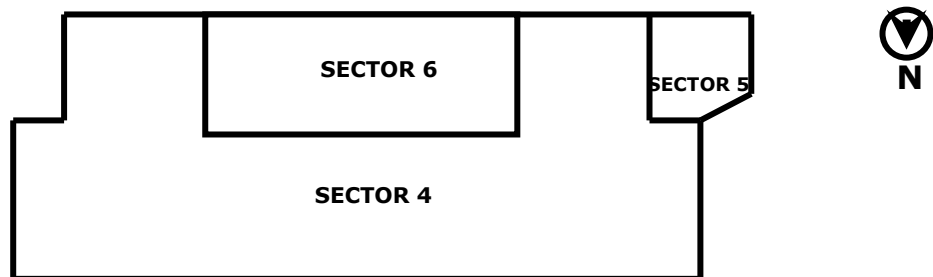


Figura 5  
División del primer piso en sectores

#### 4.1.3. Cubierta

El acceso al nivel de cubierta fue realizado sobre un cielorraso de mortero sobre metal desplegado, sostenido por un entramado de perfiles metálicos PNI en muy buen estado de conservación.

Estos perfiles, a su vez, se encuentran suspendidos de otros PNI en algunos casos, y en otros de tirantes de madera. Estos materiales se encuentran, también, en muy buen estado de conservación.

El tejado está compuesto por un sistema de tejas francesas sobre tejas cerámicas y sus elementos de sostén también se encuentran, en general, en buen estado de conservación.

El sistema de desagües pluviales se encuentra deteriorado en algunos sectores, originando humedad en los muros correspondientes y principio de deterioro en algunas vigas de madera de la estructura de cubierta.

#### **4.1.4. Subsuelo**

Es relevante la presencia de un sótano de alrededor de 16 m<sup>2</sup> de superficie bajo el Sector 2, indicado como SS en la Figura 4, permanentemente inundado. La función de este local es la de albergar una caldera, actualmente fuera de servicio, destinada a proveer de agua caliente.

#### **4.1.5. Cisterna enterrada**

Al este del Sector 3, en el exterior del Edificio y frente al subsuelo, se encuentra enterrado un tanque metálico de alrededor de 20.000 l de capacidad, que fue originalmente un tanque de reserva de combustible y que hoy se encuentra totalmente lleno de agua.

### **4.2. Terreno de fundación**

De acuerdo a estudios realizados por Chaín y Quispe (2007), los edificios fueron construidos en una zona de antiguos canales. Como el resto de la ciudad, el terreno presenta una marcada pendiente noroeste-sudeste.

Del estudio de suelo se desprende que el terreno a la profundidad de fundación (alrededor de 1.80 m) está constituido por una arcilla inorgánica cuyo contenido de humedad difiere en los distintos puntos analizados.

Este tipo de terreno posee una capacidad de carga admisible de 0.13 MPa, la cual se reduce notablemente ante la presencia de humedad.

### **4.3. Trabajos de laboratorio**

Las muestras de ladrillos fueron ensayadas a compresión, obteniéndose una resistencia promedio de 8.8 MPa.

Se ensayó testigos cilíndricos de mampostería a tracción por compresión diametral, a fin de determinar la resistencia a tracción del mortero (juntas horizontales) y al corte de la mampostería (juntas a 45°) (Figura 6). Se obtuvo, en el primer caso, una resistencia de 0.5 MPa y en el segundo, de 0.1 MPa.

Estos resultados corresponden a una mampostería (INPRES, 1983) con resistencia al corte  $\tau_{mo} = 0.25$  MPa. Las juntas de mortero en la obra tienen, en general, espesores entre 1.8 cm y 2.2 cm. De acuerdo a estudios realizados (Gea et al, 1998), se trata de espesores óptimos para la resistencia de la mampostería.

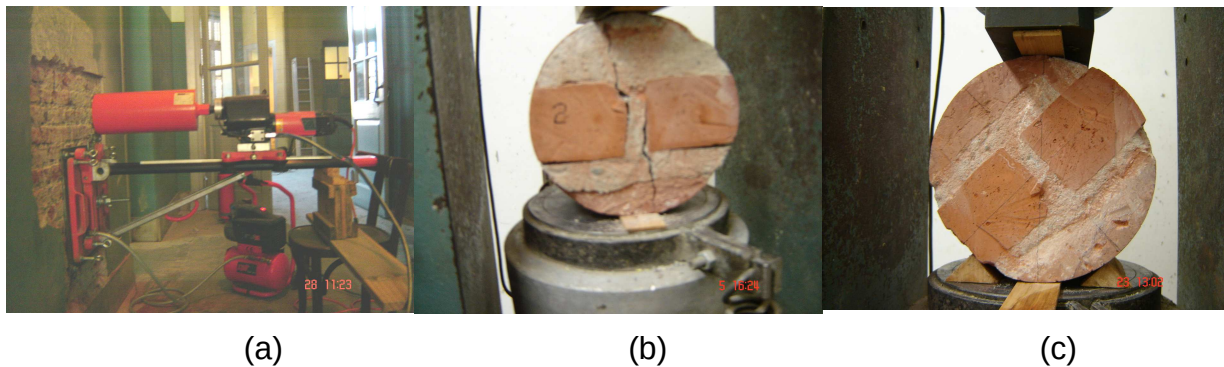


Figura 6  
 (a) Extracción de testigo, (b) Ensayo a tracción del mortero y  
 (c) Ensayo a corte de la mampostería

#### 4.4. Relevamiento de patologías

De manera sintética, los daños estructurales se pueden clasificar en:

- Fisuras inclinadas, horizontales y verticales en muros
- Fisuras verticales en coincidencia con las uniones muro-columna
- Fisuras horizontales en columnas

### 5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA

#### 5.1. Materiales y trayectoria de cargas

*Cubiertas:* La cubierta del Sector 6 (Figura 5) está constituida por una losa plana de hormigón armado. El resto del primer piso tiene una estructura de cubierta formada por tirantes de madera que, en el caso de grandes luces, transmiten el peso de aquella a un sistema de cerchas de perfilería metálica alternadas con vigas de hormigón armado.

*Cielorrasos:* Constituidos de mortero de cal y cemento sobre metal desplegado, se encuentran suspendidos de tirantes metálicos que apoyan directamente sobre los muros.

*Tabiquería:* Los muros de fachadas y divisorios están constituidos por mampostería de ladrillo cerámico macizo revocado, de 15 cm y de 30 cm de espesor. Los muros de planta baja tienen una altura aproximada de 5,70 m desde el nivel de cimientos. Los de planta alta tienen altura variable tomada desde el nivel de losas: desde 4,70 m a 6,80 m los que siguen la línea de la cubierta.

*Elementos estructurales de hormigón armado:* Se ha detectado columnas de hormigón armado con barras lisas de 12 mm de diámetro en la dirección longitudinal y estribos con separación variable, entre 15 y 30 cm. La resistencia del hormigón varía de un elemento a otro; la capa carbonatada supera los 3 cm en algunos casos, pero los recubrimientos superan los 4 cm y, en general, se encuentran en muy buen estado de conservación. Existen vigas perimetrales de 30 cm de altura. No se

detecta daños en las mismas. Los entresijos están constituidos por losas macizas de hormigón armado, apoyadas sobre vigas secundarias, muchas de las cuales no tienen su correspondencia con columnas y sus respectivas bases.

*Descarga al terreno:* Tanto las celosías metálicas de cubierta, como las de hormigón armado, descargan en sus extremos sobre vigas cabecera y estas sobre columnas. Dichas columnas llevan las cargas al terreno por medio de bases aisladas, cuya profundidad se encuentra alrededor de 2,40 m bajo el nivel de las veredas perimetrales. Los muros de 30 cm se continúan desde el primer piso a la planta baja, transmitiendo su carga al terreno a través de cimientos corridos de hormigón simple cuya superficie de contacto con el terreno se encuentra a profundidades entre 1,50 m y 1,90 m bajo el nivel de las veredas perimetrales. Los muros de 15 cm del primer piso, que no tienen continuidad en planta baja, apoyan sobre las losas.

## **5.2. Modelación de la estructura con elementos finitos**

Para modelar las vigas y columnas de hormigón armado fueron utilizados elementos tipo barra de dos nodos en correspondencia con sus ejes longitudinales. Para el modelado de las losas del primer nivel y mamposterías se empleó elementos planos rectangulares y triangulares de cuatro y tres nodos respectivamente. Los nodos a nivel de fundación se consideraron empotrados. El primer nivel se consideró como diafragma rígido, y el segundo como diafragma flexible.

Las cargas provenientes de la cubierta del segundo nivel fueron aplicadas como cargas puntuales.

Del análisis surge que la columna más cargada del edificio soporta una compresión de 2.5 MPa.

## **6. DIAGNÓSTICO DE DAÑOS**

### **6.1. Comportamiento estructural original vs. comportamiento actual**

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, la estructura de hormigón armado transmitía originalmente las cargas de cubierta y entresijo a las bases superficiales aisladas. Las cargas de los muros, por otra parte, transferían su propio peso a sus correspondientes cimientos corridos. Las presiones de contacto no superaban en ningún punto la tensión admisible del terreno.

Una vez producidos los descensos diferenciales en la fundación, lo cual se manifiesta por el agrietamiento de los muros, estos y las columnas trabajan en forma conjunta en la transmisión de las cargas verticales.

Con esa premisa se modeló el edificio, a fin de evaluar su comportamiento actual.

### **6.2. Diagnóstico general de daños**

Con respecto a las patologías en muros y algunas columnas, la ausencia de daños durante los primeros años de uso del edificio supone un proyecto adecuado de su fundación. Las patologías surgen cincuenta años después, lo que significa que



ha fallado la fundación por pérdida de la capacidad portante del terreno por la incorporación de humedad, motivada en la pérdida de agua por fallas en las envejecidas instalaciones sanitarias, tanto en la red de provisión como en la de desagües pluviales y cloacales.

Las muestras de suelo en el Sector 3 tenían, al momento del estudio, una humedad inferior a su límite plástico. Es decir, la falta de uso de las instalaciones sanitarias, por estar clausurado durante varios meses, causó que lentamente el terreno perdiera el exceso de humedad adquirido, recuperando su capacidad de carga.

Los sondeos en el Sector 1, en cambio, arrojan un elevado contenido de humedad en el suelo, superior al límite plástico, lo cual justifica el hecho de que las fisuras en ese sector se encuentren activas.

### **6.3. Diagnóstico de daños en Sector 3**

El rasgo más notable es la presencia de fisuras horizontales en algunas columnas de las fachadas Sur y Oeste (Figura 7).

Sabiendo que la estructuración de las losas de cubierta sobre vigas es la que se muestra en la Figura 8 y observando las fisuras evidenciadas en la terraza, indicadas con línea de color rojo en dicha figura, se puede reconstruir lo siguiente:

1. Daños en las instalaciones sanitarias y pluviales, más percolación de agua de lluvia hicieron un aporte de humedad al terreno de fundación que redujo su capacidad portante en el área sur-oeste, sobre todo en la zona de los sanitarios.
2. El cedimiento del terreno de las bases descargó el peso de las losas de la terraza sobre los muros, quedando las columnas traccionadas que se indican con cuadrados en la Figura 8.
3. Una redistribución de cargas se produjo entonces sobre las líneas de vigas 1y, 2y y 3y, aumentando la tensión actuante en el terreno.
4. Debido a ello, y a una probable debilitación del terreno por incorporación de agua proveniente de la zona de caldera, se produjo un descenso diferencial en la cimentación de la zona indicada con línea azul en la Figura 8, con el correspondiente descenso de las losas, lo cual se evidencia en la falla del muro sur del Sector 5 del primer piso (Figura 5).
5. La nueva configuración del Sector 3 precisó efectuar un corrimiento hacia el sur-oeste de todo el sector, por lo que este se separó de los Sectores 2 y 4 en la zona más débil de la unión entre ambos: la zona de escalera, con la aparición de fisuras verticales de gran espesor en la línea divisoria de ambos en el primer piso.

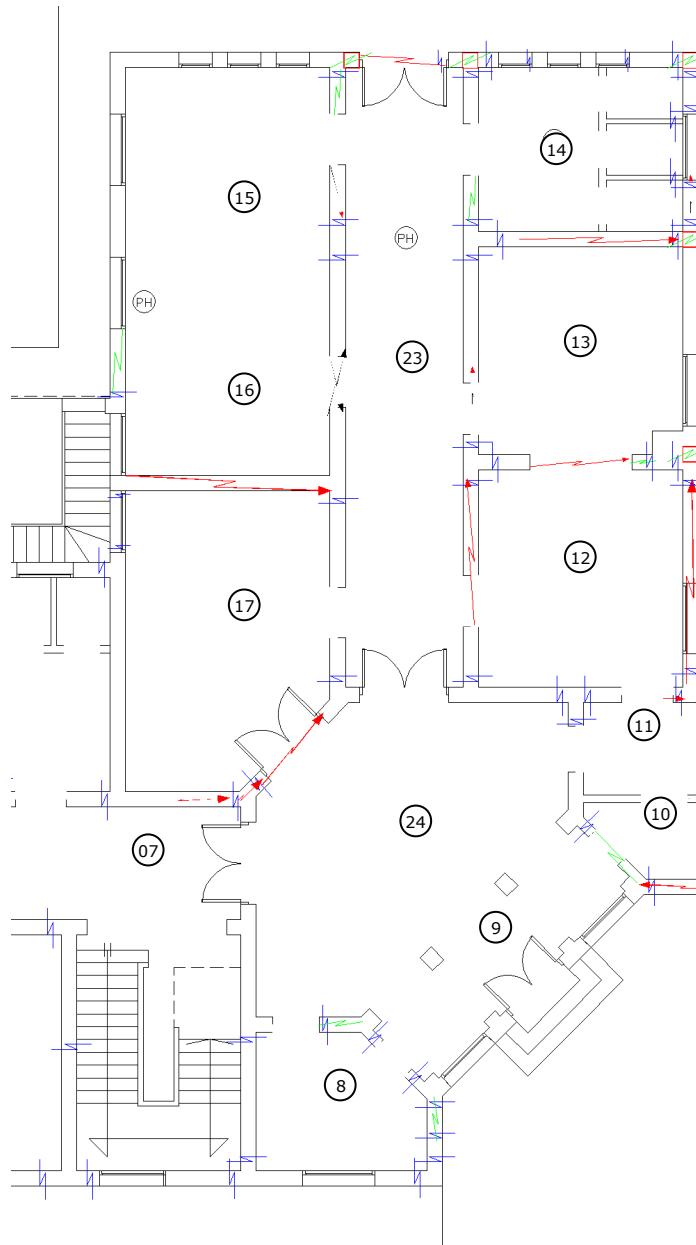


Figura 7  
Daños en planta baja Sector 3

#### 6.4 Diagnóstico de daños en Sector 1

El patrón de fisuras que manifiesta este sector es análogo al primer paso de deterioro del Sector 3 y es producido por las mismas causas (sección 6.2 y 6.3.1).

Como se mencionó anteriormente, las fisuras en este sector se encuentran activas, debido al importante contenido de humedad del terreno.

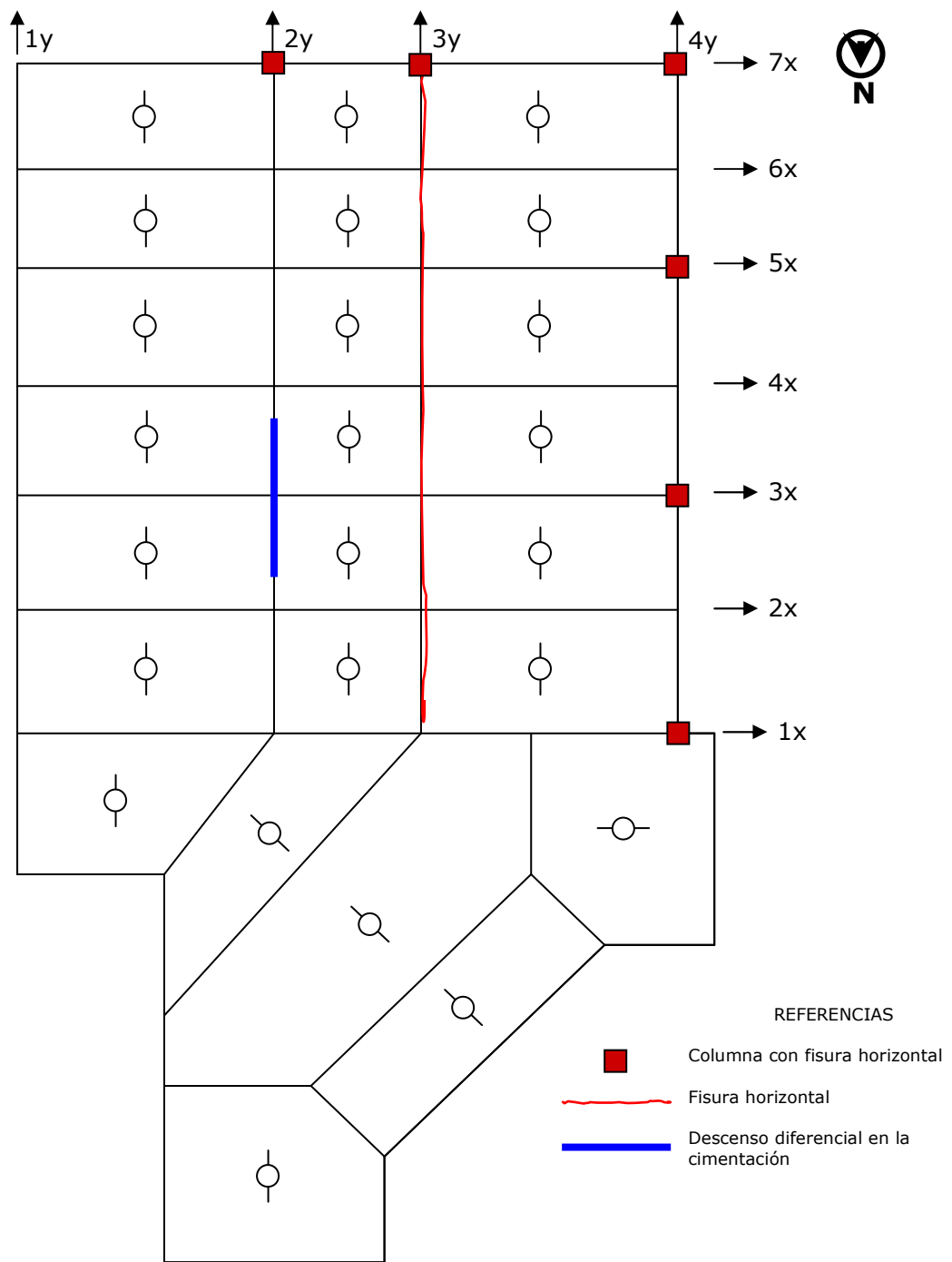


Figura 8  
Esquema estructural de losas y vigas en Sector 3

### 6.5. Diagnóstico de daños en Sector 2

El cuerpo central de este Sector presenta un nivel mínimo de fisuración, y tiene como origen los movimientos diferenciales de los Sectores 1 y 3.

## 7. MODELACIÓN COMPUTACIONAL PARA EL DIAGNÓSTICO DE DAÑOS EN SECTOR 3

El modelo descrito en la sección 5.2 y que se muestra en la Figura 9, fue sometido a las cargas permanentes y de uso reglamentarias (CIRSOC 101, 1982).

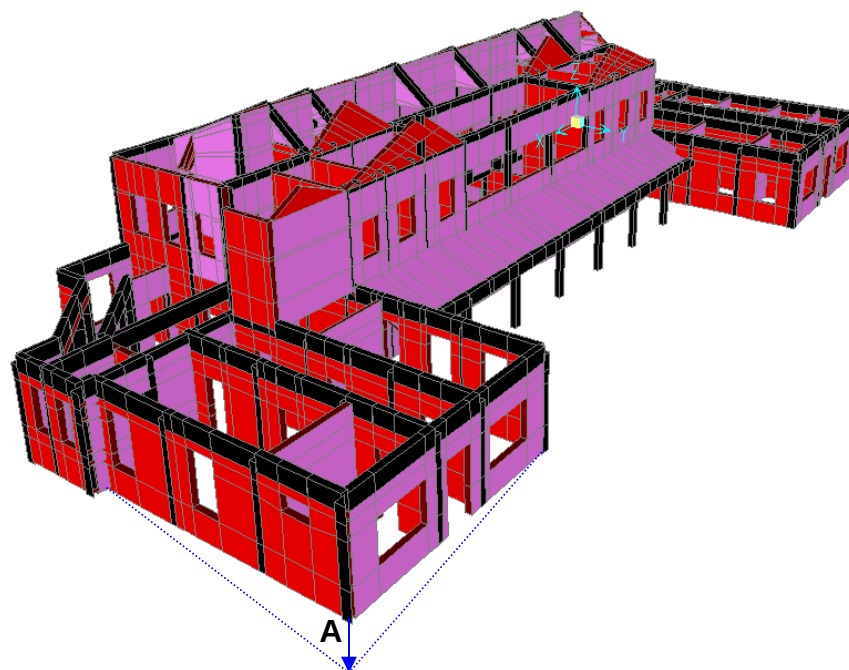


Figura 9  
Modelo de elementos finitos

Para corroborar la hipótesis de daños detallada en la sección 6.3, se utilizó el modelo descrito en la sección 3, aplicando desplazamientos a la fundación, con una distribución lineal, partiendo de un valor máximo impuesto en el vértice designado con **A** en la Fig. 9. Esta hipótesis se basa en la consideración de conservación de la rigidez del conjunto muro-cimentación.

Los desplazamientos definidos en el párrafo anterior fueron aplicados en forma creciente y escalonada. En cada paso de desplazamiento se realizó un análisis cuali-cuantitativo comparando el nivel de daño observado en la obra, con los niveles de tensión obtenidos del modelo.

A nivel de la estructura global se puede apreciar con claridad en la Figura 10 cómo varían las tensiones principales máximas con el progreso de los desplazamientos aplicados.

En la Fig. 10.a) dichas tensiones son predominantemente de compresión, y se observa la evolución de estos valores hasta alcanzar importantes niveles de tensiones principales de tracción en el Sector 3, como se observa en la Fig. 10.d). Este nivel tensional es compatible con los daños producidos (ver Figura 7).

Por otra parte, como consecuencia del descenso de la cimentación de los muros perimetrales, se sobrecargaron los muros centrales. En el modelo de elementos finitos esta situación fue tenida en cuenta realizando una redistribución de las descargas de las losas. Esta redistribución se llevó a cabo de manera secuencial a medida que se iban aumentando los desplazamientos impuestos.

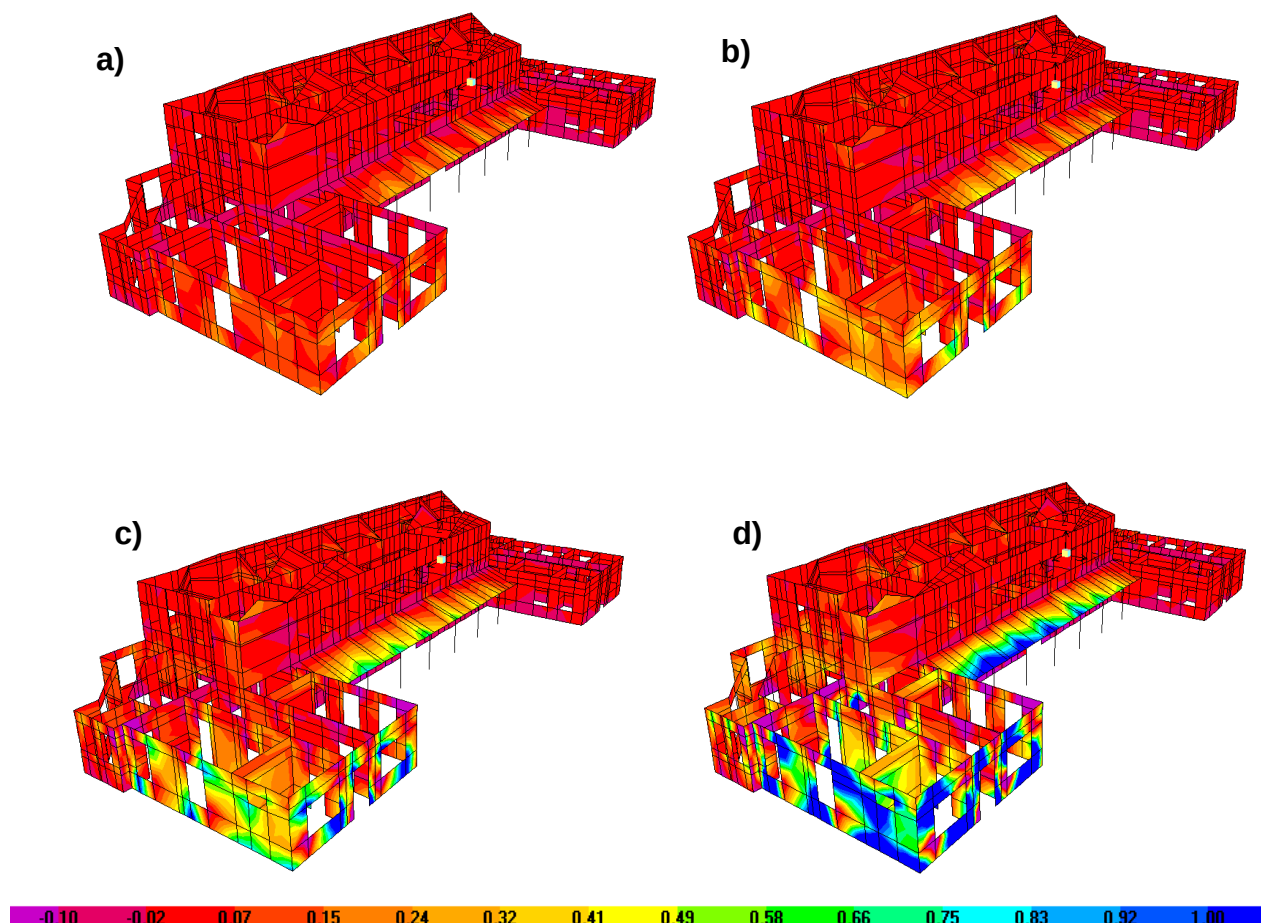


Figura 10

Tensiones principales máximas para desplazamientos impuestos  $\Delta$   
a)  $\Delta=0.5$  cm; b)  $\Delta=1.5$  cm; c)  $\Delta=2$  cm; d)  $\Delta=4$  cm

Se tomó como casos testigos varios muros con daños importantes. Particularmente para estos, se realizó una discretización más fina de la malla para analizar tanto el estado tensional como las direcciones principales y hacer una comparación cualitativa con la dirección de las fisuras. Como ejemplos se muestran dos de ellos. En la fotografía de la Fig. 11 se observa una parte del muro de la fachada oeste con fisuración aproximadamente a  $45^\circ$  que parte de la esquina superior derecha. Este efecto se verifica mediante la simulación numérica a través de la orientación de las tensiones principales en la Fig. 12. El otro ejemplo (Figura 13) refiere al muro interior que separa los locales 16 y 17 (Figura 7), observándose también en este caso una concordancia adecuada entre las direcciones principales y el patrón de fisuración.



Figura 11  
Fisuras en parte de la fachada oeste

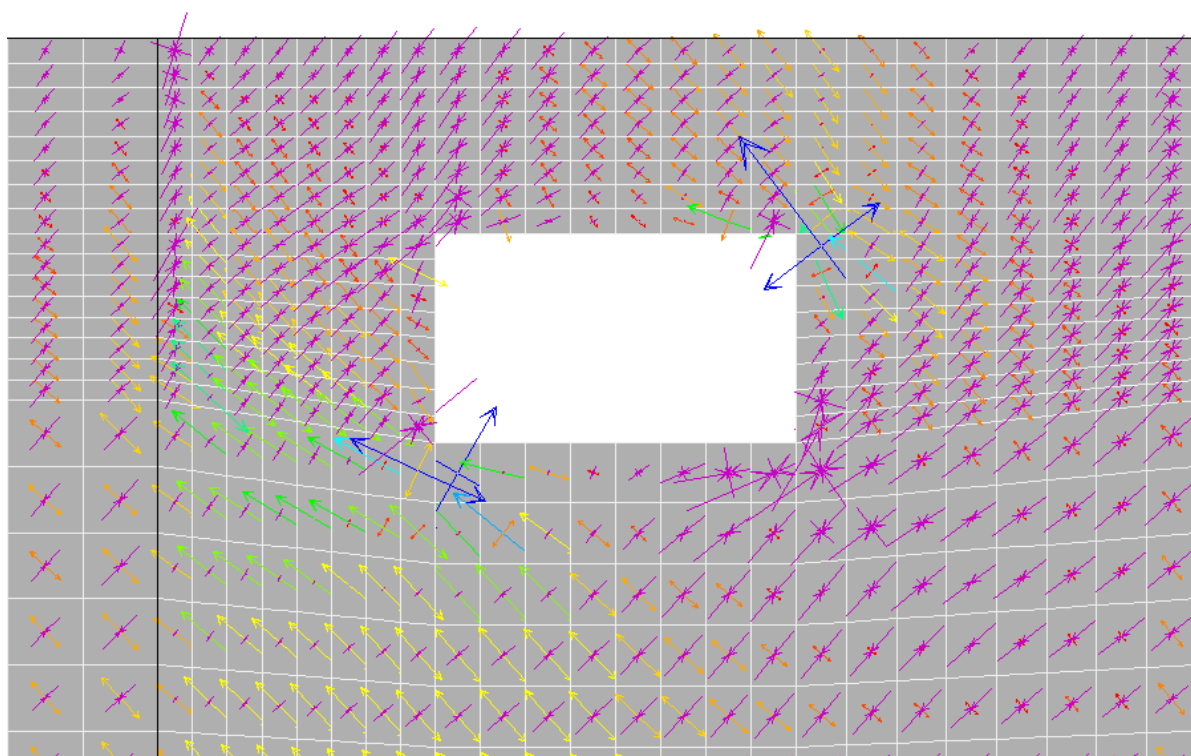


Figura 12  
Sector superior derecho de la fachada oeste. Detalle de direcciones principales.



Figura 13  
Fisuras en muro interior

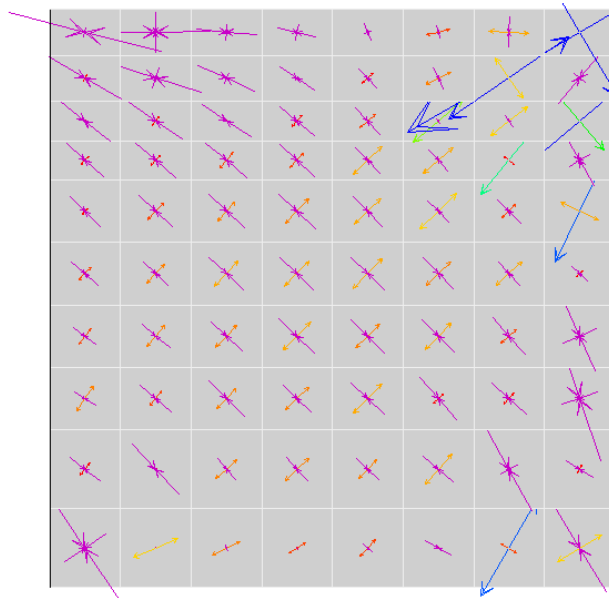


Figura 14  
Muro interior. Detalle de direcciones principales.

## 8. CONSIDERACIONES FINALES

En este trabajo se presenta el estudio y diagnóstico de las patologías que afectaron a un edificio del Ministerio de Salud de la Nación. A partir del relevamiento de daños y del estudio de las características de la fundación y del terreno se efectuó el diagnóstico correspondiente, en forma cualitativa.

Con las propiedades mecánicas y características geométricas de la estructura relevada se realizó la modelación numérica tridimensional con un programa comercial de elementos finitos. El objetivo fundamental de este análisis fue corroborar el diagnóstico efectuado en primera instancia, ya que las alternativas para la propuesta de refuerzo y rehabilitación dependen de la precisión del diagnóstico realizado, tanto en lo que se refiere al estado de situación actual como a las causas y la probable evolución de los daños.

La modelación numérica permitió no sólo corroborar la hipótesis preliminar sino también estudiar la secuencia de daños en el tiempo de manera cuali-cuantitativa, como también los niveles tensionales alcanzados en las distintas etapas de asentamientos diferenciales y las consecuentes redistribuciones de cargas. A partir de estas consideraciones se destaca que el uso de un software comercial accesible en cuanto a su manejo resulta un útil e importante complemento para este tipo de análisis.

## REFERENCIAS

Astroza, M., Moroni, M., Kupfer, M., (1993). Calificación Sísmica de Edificios de Albañilería de Ladrillos Confinada con Elementos de Hormigón Armado. Memorias de las XXVI Jornadas sudamericanas de Ingeniería Estructural. Montevideo, Uruguay.

Boroschek, R., Astroza, M., Osorio, C., (1995). Criterios de Evaluación de la Vulnerabilidad Física de Hospitales Asociadas a Sismos. XXVII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural – Tucumán, Argentina.

CIRSOC (1982). Reglamento CIRSOC 101. Cargas y Sobrecargas Gravitatorias para el cálculo de las estructuras de edificios. Buenos Aires, Argentina.

CSI Analysis Reference Manual, (2005). Computers and Structures, Inc. Berkeley, California. USA.

Chaín, M., Quispe, C., (2007). Los Accidentes Topográficos Antiguos y Sentido de Drenaje de la Ciudad de Salta. VII Encuentro de Investigadores y Profesionales Argentinos de la Construcción, Salta.

Gea, S., Castellón, R., (2002). Estudio comparativo de metodologías de Evaluación Cualitativa de Vulnerabilidad sísmica Aplicadas a Edificaciones Esenciales. XVII Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural. Rosario, Argentina

Gea, S., Passamai, T. y Trigona, D., (1998). Los Mampuestos Arcillosos en la Ciudad de Salta: Comportamiento Sismorresistente. XVI Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural – Buenos Aires.



Hirosawa M., Retrofitting and Restroration of Buildings in Japan, (1992). International Institute of Seismology and Earthquake Engineering. Lecture Notes of Seminar Course.

INPRES (1983). Normas Argentinas para Construcciones Sismorresistentes. Reglamento INPRES – CIRSOC 103. Buenos Aires, Argentina.