

VULNERABILIDAD SÍSMICA (FÍSICA) DEL SECTOR NORTE DE LA CIUDAD DE SALTA – NIVEL PRELIMINAR

Orosco, Lía

Ingeniera Civil

IESIING – Facultad de Ingeniería - UCASAL

lorosco@ucasal.net

Galíndez, Fernando

Ingeniero en Construcciones

Facultad de Arquitectura y Urbanismo - UCASAL

ecosol@ucasal.net - ingfernandogalindez@gmail.com

Haarala, Mika

Msc. En Matemáticas

IESIING – Facultad de Ingeniería – UCASAL

mika.haaralaorosco@gmail.com

Viramonte, José

Geólogo

Geonorte-Inenco – U.N.Sa

viramont@unsa.edu.ar

RESUMEN

La Ciudad de Salta y su área metropolitana, conforman un núcleo urbano que cuenta al presente con casi 580.000 habitantes. El crecimiento vertiginoso de la ciudad se dio sin planificación por lo que su vulnerabilidad sísmica aumentó considerablemente. Se muestran los resultados de la vulnerabilidad física estimada en la zona norte de la ciudad, aplicando métodos empíricos clásicos básicos, como el Método del Índice de Vulnerabilidad (MIV). El mismo, síntesis de la Escala macrosísmica Europea (EMS) y el Método Italiano fue adaptado tanto a las características de edificios como de los datos posibles de obtener considerando la extensión del área estudiada y recursos disponibles.

Los datos fueron recolectados de fuentes primarias y secundarias: trabajos realizados por el Instituto Provincial de la Vivienda, análisis de imágenes satelitales y relevamiento de campo.

ABSTRACT

Salta City and surroundings, with almost 555.000 inhabitants, experienced a relevant as far as unplanned last decades, yielding to an increasing seismic vulnerability of the urban area. Results of vulnerability assessment are shown, corresponding to the north part of the city. Empirical basic classic parameters were applied, such the Vulnerability Index Method (MIV): synthesis of the European macroseismic scale (EMS) and the Italian method, modified properly to take into account local buildings characteristics and conditions of the carried survey in an extended city.

. Data were collected from primary and secondary sources: work done by the Provincial Housing Institute, satellite image analysis and field survey.

INTRODUCCIÓN

El área metropolitana de Salta, que está constituida por su ciudad capital más localidades vecinas cercanas, constituye un conglomerado urbano de cerca de 580.000 habitantes (CENSO 2010), que se asienta sobre Valle de Lerma, constituido por sedimentos cuaternarios, depositados sobre un basamento deprimido terciario (Figura 1). La zona ha experimentado sismos intensos en su historia, siendo el último más intenso, el del 27 de febrero de 2010 de magnitud 6.1 (www.inpres.gov.ar/sismos_consultados.php) producido a unos 23 km del centro de la Ciudad que causó daños importantes en viviendas ubicadas en distintas localidades del Valle de Lerma¹.

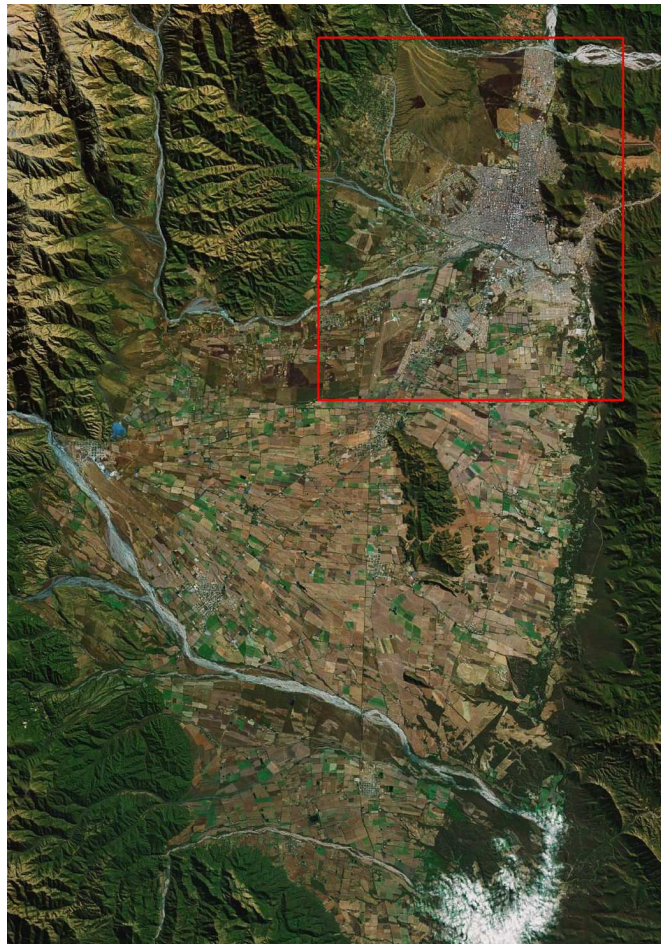


Figura 1: Valle de Lerma, donde en el sector NE se ubica la Ciudad de Salta.

La ciudad de Salta ha crecido en forma acelerada en los últimos años, debido tanto al natural crecimiento vegetativo de la población como a la migración interna desde zonas rurales a las ciudades. Este crecimiento no ha respondido a una planificación racional, primando en todo caso, en cuanto a la construcción, el criterio del mercado inmobiliario. El Censo 2010 arrojó como resultado que la ciudad capital

cuenta con casi 140.000 viviendas. Este panorama lleva a pensar que la vulnerabilidad sísmica de la ciudad ha crecido también.

Parte de la población se asienta en sitios potencialmente peligrosos en caso de movimientos sísmicos intensos como así también, cuenta en su patrimonio edilicio con edificaciones de más de dos o tres siglos, algunas de ellas de indudable valor histórico, cultural y/o arquitectónico.

El riesgo sísmico que amenaza a una ciudad resulta de la convolución de varios factores. Se define tradicionalmente el riesgo total como²

$$R_t = E \times R_s = E \times H \times V \quad (1)$$

donde R_s es el riesgo específico, definido como grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un suceso particular y como una función de la amenaza (H) y la vulnerabilidad (V).

Pero Cardona³ propone eliminar la variable exposición considerándola explícitamente en la vulnerabilidad, y colocar expresamente la variable tiempo (tiempo de exposición). En este caso,

$$R_{ie} / t = (A_i, V_e) / t \quad (2)$$

lo que se interpreta que el riesgo es la probabilidad que se produzca una pérdida sobre el elemento e como la consecuencia de la ocurrencia de un evento de intensidad mayor o igual a i , en un período de exposición t . Para ello es preciso conocer la amenaza A_i (probabilidad de que ocurra un evento con intensidad mayor o igual a i durante un tiempo de exposición t) y la vulnerabilidad V_e (susceptibilidad intrínseca de un elemento a ser afectado ante la ocurrencia del fenómeno de intensidad i)

Wilches-Chaux (citado por Barbat y Pujades⁴) entre otros, ha propuesto también el concepto de vulnerabilidad global, en que se caracteriza el riesgo y la vulnerabilidad no sólo física sino que integra otros aspectos tales como la situación económica, social, política, educativa, ambiental, cultural e ideológico del sitio bajo estudio, los que condicionan la fragilidad física objetiva del sistema.

Se considera esta última visión como la más apropiada por lo que el concepto "vulnerabilidad" engloba varios aspectos y factores que interactuando conforman un escenario complejo y fundamental, el que es preciso conocer para una estimación racional del riesgo sísmico que afecta a los habitantes de una ciudad amenazada por el fenómeno sísmico (como cualquier otra amenaza natural).

Este trabajo muestra los avances del estudio de sólo uno de estos factores, la vulnerabilidad física (estado de de las edificaciones) del sector norte de la Ciudad de Salta; es un análisis de primer nivel, y tiene como objetivo estimar el estado medio de la situación edilicia común del sector analizado, por lo que no incluye el microcentro de la ciudad ni edificios históricos y esenciales, que fueron objeto de estudio en otros trabajos.

El conocimiento de la vulnerabilidad (al menos la física) es fundamental para estimar el riesgo sísmico de una ciudad. Comúnmente son los datos censales e inspección en campo los que suministran el conocimiento necesario para su estimación^{7,8,9,10,11}. Se ha realizado un primer estudio del riesgo sísmico de la Ciudad de Salta, donde la vulnerabilidad física fue considerada en base al período dominante de las edificaciones en Salta (0,3 segundos) que corresponden a edificios bajos y rígidos¹².

METODOLOGÍA

La metodología a aplicarse para determinar la vulnerabilidad sísmica de una ciudad, depende del alcance y fines del estudio como así también de los recursos (humanos y económicos) y el tiempo disponibles.

La cuantificación de la vulnerabilidad puede realizarse por distintos métodos; los más nombrados en la bibliografía especializada son el método que utiliza curvas de fragilidad y el método del Índice de vulnerabilidad.

Con referencia al método del Índice de Vulnerabilidad que fue el utilizado en este trabajo, pueden utilizarse:

Matrices de probabilidad de daño, que expresan en forma directa la probabilidad condicional de que una estructura sufra un nivel de daño N_D igual a j , dado un sismo con un nivel de severidad i ; utilizada por Whitman y colaboradores en sus trabajos¹².

Funciones de vulnerabilidad que son relaciones gráficas o matemáticas que expresan en forma continua la vulnerabilidad en función de la severidad del evento sísmico, expresada en algún parámetro adecuado (intensidad macrosísmica, aceleración del suelo, etc.)^{5,14,15,16}

El Método del Índice de Vulnerabilidad (I.V.) es una síntesis entre la escala macrosísmica europea y el Método Italiano y las expresiones que se utilizaron en este trabajo son las detalladas en la bibliografía¹⁷. Se valora cada edificio en particular con un Índice de Vulnerabilidad, que varía entre 0 y 1, mientras más cerca a 1 más vulnerable es el edificio. Puede describir los edificios con gran nivel de detalles, integrando la importancia de su diseño. Las funciones de pertenencia a cada una de las seis clases de vulnerabilidad se definen en forma difusa, con funciones de pertenencia $\kappa=1$ y unos rangos posibles que definen la transición entre dos rangos de vulnerabilidad adyacentes. Así pues, para cada edificio, además de diferentes valores probables $V*1$ (medios), el método contempla rango de índices posibles ($\kappa \geq 0.60$) y de índices menos probables de κ entre 0,6 y 0,2.

En este trabajo se utilizaron valores medios de los parámetros que califican los componentes de la vulnerabilidad y sus valores fueron extraídos de la monografía de Caro¹⁷.

Aplicación del método a la zona estudiada

La zona analizada tiene por límites al Norte el Río Vaqueros, al Sur Calle San Martín, al Oeste Municipio de San Lorenzo y al Este Serranías del Mojotoro. Se resume el análisis en la serie de Tablas 1a, 1b y 1c y en la Figura 2.

Barrios	Índice de vulnerabilidad	Características
B° 17 de Octubre, 15 de setiembre, La Tradición, J.M. de Rosas, P. Heitman, Balneario, Unión, 1° de Mayo, Juan Pablo II, Leopoldo Lugones	0,68	Barrios y asentamientos de construcción precaria
Barrio Ciudad del Milagro	Edificios: 0,61 Casas: 0,40	Barrio construido en 1977 por el Instituto Provincial de la Vivienda (IPV) (Norma sismorresistente (NS) baja).
Barrio Parque General Belgrano 1°, 2° y 3° Etapa	Edificios: 0,39 Casas y dúplex: 0,39	Realizado por el IPV en 1.982 (NS intermedia)
Barrio Parque General Belgrano – 4°, 5° y 6° etapa	Edificios: 0,28 Casas y dúplex: 0,24	Realizado por IPV – 1990 – Norma alta
Barrio Lamadrid	0,56	Barrio heterogéneo realizado en gran parte por autoconstrucción a partir de 1975
Barrio General Mosconi	0,59	Barrio heterogéneo realizado en gran parte por autoconstrucción a partir de 1970
Miguel Ortiz	0,61	Barrio heterogéneo realizado en parte por autoconstrucción a partir de 1967 Se considera una zona representativa Mza 23a y Mza 23b 29 precarias – 18 casas bajo norma
Cosmopol	0,26	Barrio homogéneo, construido bajo normativa vigente. La tipología dúplex con estructura de Hormigón Armado y muros de ladrillos cerámicos no portantes.

Tabla 1a: Índice de Vulnerabilidad medio en barrios de la Ciudad de Salta.

Barrios	Índice de vulnerabilidad	Características
Barrio El Pilar	0,63	Barrio heterogéneo que data del año 1950 consolidado posiblemente antes de las existencia de Normas Sísmicas.
Barrio General Belgrano	0,71	Barrio heterogéneo que data del año 1945 consolidado posiblemente antes de las existencia de Normas Sísmicas.
Tres Cerritos (norte)	0,52	Barrio heterogéneo
Tres Cerritos (centro)	0,47	Barrio heterogéneo
Tres Cerritos (sur)	0,51	Barrio heterogéneo. La parte más antigua (1960). Parte se desarrolla en los faldeos de los cerros que rodean la ciudad.
Barrio Grand Bourg	Entre 0,44 y 0,28	Barrio heterogéneo, plantado en las Lomas de Medeiro, en la zona oeste de la ciudad. Al igual que en la zona Norte, este barrio está rodeado de asentamientos consolidados.
Barrio La Alborada	0,49	Barrio homogéneo de 42 viviendas construidas en mampostería portante con encadenados y losa, con verificación sísmica.
Barrio La Estación	0,63	Posiblemente se desarrolla a partir del año 1890. Es un barrio antiguo que creció en comercios, hoteles y depósitos debido a la Estación de Ferrocarril. No se modificó en demasía su tipología constructiva.
Barrio Vicente Solá	0,58	Barrio heterogéneo realizado en parte por autoconstrucción a partir de 1964.

Tabla 1b: Índice de Vulnerabilidad medio en barrios de la Ciudad de Salta.

Barrio	Índice de Vulnerabilidad	Características
Barrio 20 de Febrero	0,68	Al borde oeste del microcentro se desarrolla este barrio desde principios del siglo XX.
Barrio Luján	0,62	Viviendas con norma baja o prenorma
Barrio Campo Caseros	0,61	Importante crecimiento a mediados del siglo XX. Edificios particulares y otros financiados por organismos públicos y privados
B° Roberto Romero, San Silvestre, Islas Malvinas, San Isidro, Olivos, Leguizamón, 17 de Mayo, Las Costas, Puerto Argentino.	0,68	Originados generalmente por asentamientos

Tabla 1c: Índice de Vulnerabilidad medio en barrios de la Ciudad de Salta

La información básica y necesaria para determinar los valores del Índice de Vulnerabilidad fueron la conjunción de datos obtenidos del Instituto Provincial de la Vivienda, imágenes satelitales, bibliografía dispersa sobre historias de barrios, y la inspección visual rápida, mediante el recorrido de los mismos.

TRABAJO DE CAMPO – ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El estudio de campo fue realizado en la zona señalada en la Figura 3. Se diseñó un cuestionario que permitió obtener datos de los siguientes parámetros de vulnerabilidad física: antigüedad, número de pisos, tipo de estructura, material, tipo de cubierta, ubicación en la cuadra, estado de conservación y modificaciones realizadas.

Los datos de 680 unidades se volcaron a una planilla de tratamientos de datos y en base a los lineamientos de la norma EMS-98¹⁸, se determinó la vulnerabilidad de cada una de las unidades encuestadas (la escala va de A, muy vulnerable, a F: poco vulnerable). Los datos encuestados incluyen los parámetros necesarios para realizar la clasificación, más otros que son importantes para definirla en forma más clara (como estado de la construcción) ya que esta clasificación no es unívoca sino que admite un rango de validez. Los resultados se observan en la Figura 4. Esta clasificación no tiene en cuenta la ubicación del edificio en la cuadra pero su influencia en la respuesta ante sismos es bien sabida y aceptada. Las Figuras 5 y 6 muestran ejemplos de la construcción típica de la zona (la toma de datos incluye el

testimonio fotográfico de las cuadras).

Este trabajo demandó un gran esfuerzo debido a la escasez de recursos antes citada. Se comprobó además una reticencia de las personas a colaborar, que fue venciendo con la explicación detallada del uso de los datos que se solicitaban y el fin del estudio. Por tal razón se realizó un análisis estadístico a fin de valorar la validez de estimar la vulnerabilidad media de toda la zona, tomando datos en una o dos cuadras.

Para ello se aplicó la prueba Z entre dos proporciones, siendo la vulnerabilidad según EMS-98 el parámetro considerado. Se probó la validez de la hipótesis nula entre pares de muestras s_1 y s_2 , donde s_1 puede tener una, dos o tres manzanas, y s_2 contiene al resto. En la comparación, se tomaron todas las combinaciones posibles, calculando el número de casos donde la hipótesis H_0 es válida, siendo este la probabilidad de que tomando una, dos o tres cuadras aleatorias del conjunto bajo estudio, las mismas reflejen las características del conjunto, o sea que sea válida la hipótesis nula; esta tiene una probabilidad estimada del 13% cuando se toma aleatoriamente una sola manzana, y del 30% cuando se toman dos o tres (intervalo de confianza del 99%). La vulnerabilidad A tiene una frecuencia muy baja y aleatoria, por lo que esta clasificación no fue considerada en el cálculo.

Este valor es muy bajo, por lo que la hipótesis nula fue rechazada. Luego, cuando los datos se agruparon en distintos clusters, se repitió el cálculo, y la probabilidad creció hasta un 70% cuando se toman dos manzanas. Se concluye que en el caso de zonas urbanas homogéneas en cuanto a las características de su construcción, analizando dos manzanas tomadas en forma aleatoria, se tiene hasta un 30% de probabilidad que los resultados obtenidos no reflejen la vulnerabilidad de toda la zona.

Se pensó luego otra manera de muestreo: tomar datos de unidades (edificios) aleatorios (lo que implica tomar aleatoriamente cuadras y parcelas) de toda la zona estudiada. En este caso, s_1 es el conjunto de datos de unidades, donde al menos existan cinco casos de cada parámetro (vulnerabilidad) considerado. El conjunto s_2 es el resto de las unidades. Realizando 100.000 combinaciones, resulta que para este caso un valor medio de 23 viviendas o unidades como suficientes para lograr un 98% de probabilidad de que la hipótesis nula sea verdadera, o sea que ese subgrupo s_1 refleja las características medias de toda la zona estudiada.

Este será el método de muestreo de las zonas restantes de la Ciudad de Salta, en aquellos barrios con características heterogéneas para determinar la vulnerabilidad física según la escala EMS-98.

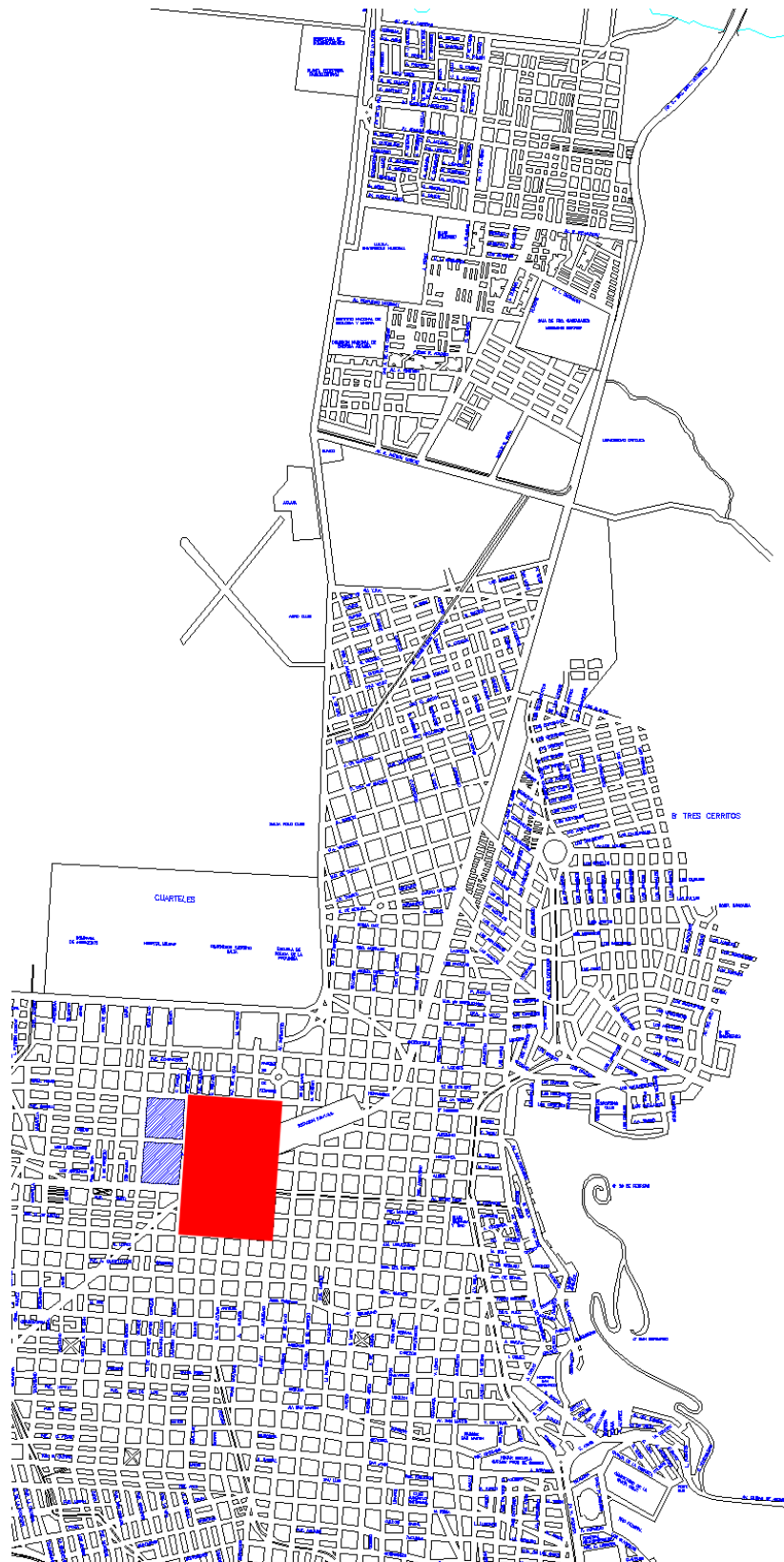


Figura 3: Zona donde fue realizado el estudio de campo (en rojo).

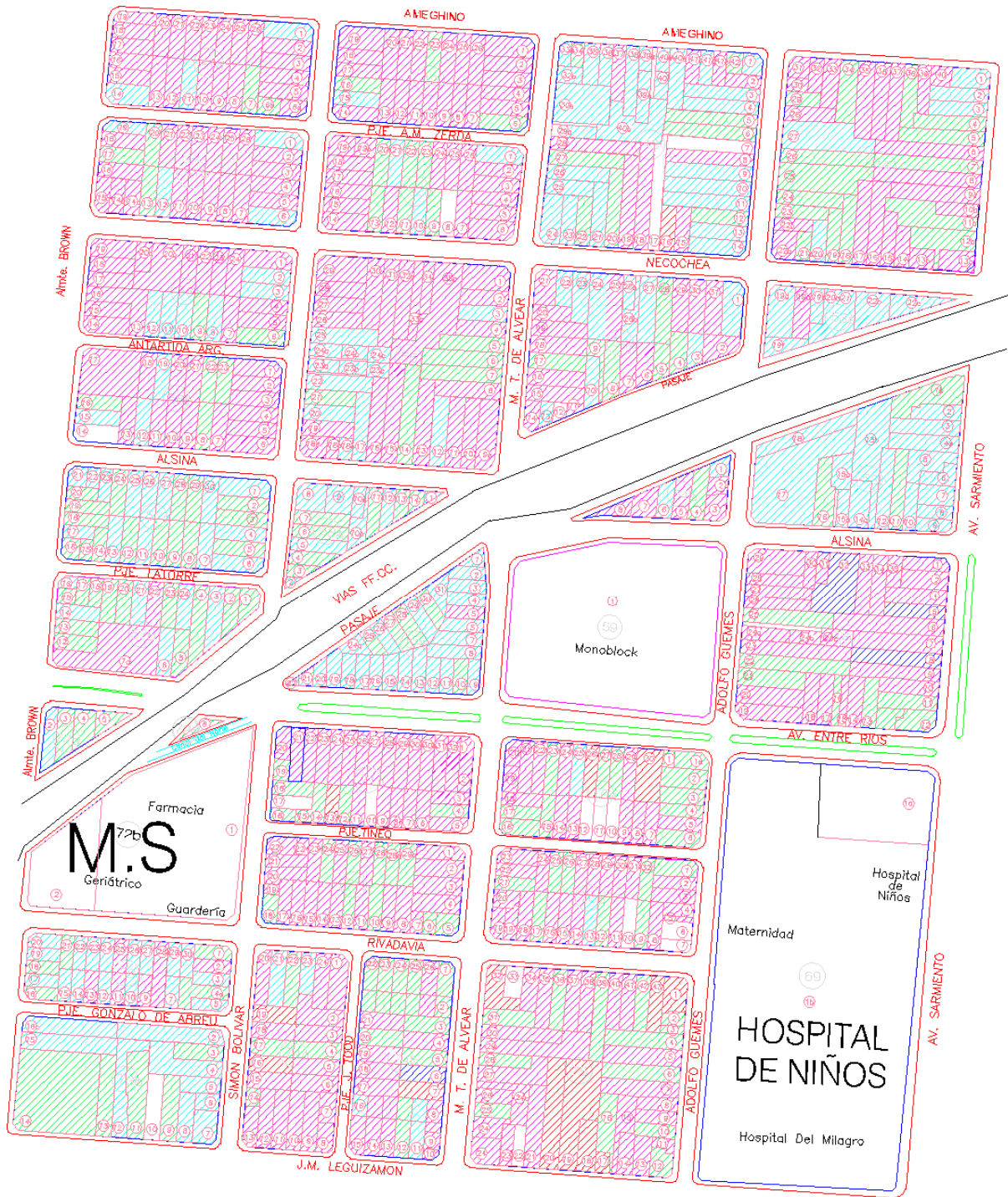


Figura 4: Vulnerabilidad según escala EMS-98. A en rojo, B en verde, C en celeste, D en magenta y E en azul.



Figura 5: construcciones típicas de la zona de estudio de campo



Figura 6: Construcciones típicas de la zona de estudio de campo

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES A FUTURO

Se han presentado los resultados de la estimación de la vulnerabilidad de un sector de la parte norte de la Ciudad de Salta, como avance de los estudios que se están realizando para determinar la vulnerabilidad física de la ciudad para ser aplicados a la determinación del riesgo sísmico de la Ciudad. Corresponden a un primer nivel de evaluación.

La aplicación del Método del Índice de Vulnerabilidad, basándose en información general y básica arroja para la zona estudiada valores medios entre 0.71 y 0.24, pero se da con más frecuencia valores mayores a 0,47.

Se presentan barrios o sectores con características homogéneas en su construcción; en estos, es factible estudios de vulnerabilidad de mayor nivel y detalle, considerando pocas muestras o modelado de estructuras típicas.

En las zonas detectadas como heterogéneas, se deberá invertir esfuerzos en realizar estudios de campo. A fin de definir el muestreo óptimo, se realizó un estudio estadístico de 680 datos obtenidos en una zona de prueba, caracterizada por su heterogeneidad. Se adoptó la clasificación de vulnerabilidad dada por la escala EMS-98.

Del análisis estadístico de datos de campo de una zona de estudio se infiere que es significativo hacer un muestreo aleatorio, constituyendo un universo en el que al menos se tengan cinco muestras de cada parámetro considerado (en este caso, se utilizaron las clases de vulnerabilidad dadas por la escala EMS-98).

La zona presenta valores de vulnerabilidad media, en los que tanto las clases de alta vulnerabilidad A y B como las de baja vulnerabilidad E y F se dan con muy poca frecuencia.

Se realizó un amplia simulación numérica y al menos para esta zona, dio como resultado un valor medio de 23 unidades (23 viviendas) como suficientes para que exista el 98% de probabilidad de que la muestra refleje la vulnerabilidad de toda la zona.

Este es el método con que se continuará el trabajo, tanto en zonas heterogéneas de la parte norte como en la mitad sur de la ciudad, donde se tienen extensos barrios con estas características.

Colaboradores

Se agradece la colaboración en la toma de datos de campo de los siguientes alumnos de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Católica de Salta: Walter Armoa, Pablo Heredia y Esmeralda Cruz Castillo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Subsecretaría de Prevención y Emergencias de la Municipalidad de Salta, el apoyo brindado para la realización del trabajo de campo y al Consejo de Investigaciones de la UCASAL por financiar parcialmente el mismo.

Referencias:

[1] Orosco, L., Galíndez, F., Polliotto, G., Viramonte, J., 2011, **Efectos del sismo del 27 de Febrero de 2010 en las localidades de Quijano y Rosario de Lerma**, Memorias del EIPAC2011, Salta, 9, 10 y 11 de Noviembre.

[2] Sandi, H. , 1983, **Earthquake risk and earthquake preparedness: some qualitative aspects and quantification possibilities**, Proceedings of Seminar on Earthquake Preparedness, UNDP/UNESCO/UNDRO Project for earthquake risk reduction in the Balkan region, Athens, 79-83

[3] Cardona, O.D., 1986, **Enfoque metodológico para la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico**, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Boletín Técnico 33

[4] Barbat, A. y Pujades, L., **Evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo sísmico en zonas urbanas. Aplicación a Barcelona.** En: http://www.civil.uminho.pt/masonry/Publications/Sismica_2004/229-252%20Alex%20Barbat%20e%20Luis%20Pujades%20_24%20p_.pdf

[5] Caro, R., 2011, **Evaluación del riesgo sísmico mediante el método del Índice de Vulnerabilidad: aplicación al microcentro de la Ciudad de Salta**, Memorias del EIPAC2011, Salta

[6] Gea, S., 2000, **Vulnerabilidad estructural del Hospital San Bernardo de la Ciudad de Salta**, I Curso Internacional CISMID: Reducción de la Vulnerabilidad Sísmica en Edificaciones Esenciales, Lima, 11-29 de Setiembre de 2000 (bvs.per.paho.org/texcom/cd050662/gea.pdf)

[7] Inel, M., Senet, S.M., Toprack, S. And Manav, Y., 2008, Seismic risk assessment of buildings in urban areas: a case study for Denizli, Turkey, Nat. Hazards, Vol 46, pp265-285.

[8] Pathak, J., 2008, Earthquake vulnerability assessment of Guwahati urban centre, 14 World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, Beijing, China.

[9] Prasad, J.S.R., Singh, Y. Kaynia, A. and Lindholm, C., 2009, Socioeconomic

clustering in seismic risk assessment of urban housing stock, Vol 25, N°3, pp 619-641.

[10] INPRES, 1.995, **Microzonificación sísmica de la Ciudad de Mendoza y Gran Mendoza** – Informe Técnico, Instituto Nacional de Prevención Sísmica, San Juan.

[11] INPRES, 1.982, **Microzonificación sísmica del Valle del Tulum – Provincial de San Juan** – Informe Técnico, Vol 2.

[12] Colombi, A., Di Filippo, M. Gasparini, C. Viramonte, J.G. and Pergalani, F., 2000, **Combined data among 3d gravity modeling and seismic amplification computed response to draw the seismic risk map in urbanized areas of Salta (Argentina)**; International Symposium on Seismic Risk , Palm Spring, USA.

[13] Whitman, R.V., Reed, J.W. and Hong, S.T., 1973, **Earthquake damage probability matriz**, Proceedings 5° World Conf. on Earthquake Engineering, Roma.

[14] Barbat, A.H., Mena, U. y Yépez, F., 1998, **Evaluación probabilista del riesgo sísmico en zonas urbanas**, Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, 14(2), pp 247-268

[15] Porter, K., 2009, **Cracking Open Safe: HAZUS vulnerability functions in terms of structure independent spectral acceleration**, Earthquake Spectra, Vol 25, N°2, pp 361-379.

[16] Porter, K., 2009, **Cracking Open Safe: HAZUS vulnerability functions in terms of structure independent intensity**, Earthquake Spectra, Vol 25, N°3, pp 607-619.

[17] Caro, R., Barbat, A. Y Oller, S., 2012, La evaluación del Riesgo Sísmico mediante el Índice de Vulnerabilidad. Editorial de la Universidad Nacional de Salta.

[18] Grüntal, G., 1998, **European macroseismic scale 1998- EMS-98**, Conseil de L'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Sèsmologie, Vol15.