

Riesgo Sísmico en San Miguel de Tucumán: Modelización de la Vulnerabilidad Edilicia Aplicando el Programa Selena

Liliana del Valle Abascal¹, Gustavo González Bonorino², Pablo Agustín Arévalo¹, Lidia María Benítez³ y Sonia Bibiana Benítez³

¹ Cátedra Geología Básica, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina.

² Consultor. Investigador Principal, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

³ Cátedra de Matemática, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina.

Resumen

San Miguel de Tucumán es la capital de la provincia de Tucumán, donde viven setecientos mil habitantes con una alta densidad de población: 8.700 hab/km². Se sitúa en la región noroccidental de Argentina que se caracteriza por una moderada sismicidad, documentada en registros históricos e instrumentales de sismos. En este trabajo evaluamos el efecto que tendría un sismo en los edificios, analizando la vulnerabilidad edilicia. El estudio relevó cuatro tipologías edilicias representativas de las construcciones presentes. La simulación se realizó utilizando el programa SELENA (Seismic Loss Estimation using a logic tree Approach). La sismo-resistencia y la vulnerabilidad de cada tipo edilicio se representaron mediante curvas de capacidad y fragilidad, respectivamente.

Palabras clave: San Miguel de Tucumán, sismicidad, vulnerabilidad edilicia, SELENA.

Seismic Risk in San Miguel de Tucumán: Modeling Building Vulnerability Applying the Selena Software

Abstract

San Miguel de Tucumán is the Tucumán Province capital city. It has a population of seven hundred thousand and a high density of 8700 inhabitants/km². The Province of Tucumán is in the northwestern region of Argentina and is characterized by a moderate seismicity, documented in historical and instrumental records of earthquakes. In this work, we evaluate the effect that an earthquake would have on buildings, analyzing the building vulnerability. The study revealed four representative building typologies. The simulation was performed using the SELENA program (Seismic Loss Estimation using a logic tree Approach). The earthquake resistance and vulnerability of each building type were represented by capacity and fragility curves, respectively.

Keywords: San Miguel de Tucumán, seismicity, building vulnerability, SELENA.

Introducción

El riesgo sísmico es la interacción de tres componentes: peligro, vulnerabilidad y exposición. El peligro sísmico es la probabilidad de que se produzca un sismo en una región y dentro de un plazo determinado, representando una amenaza potencial para un lugar o grupo social. El peligro sísmico se documenta mediante el relevamiento de eventos sísmicos históricos o registrados instrumentalmente. La vulnerabilidad es la predisposición de un conjunto de construcciones y personas a sufrir daños y es independiente del peligro. Al tomar en consideración una población se identifica la vulnerabilidad edilicia y la social. La vulnerabilidad edilicia depende de las características de diseño, calidad de materiales y de la construcción, así como del deterioro de los materiales por agentes externos, por antigüedad o falta de mantenimiento. La vulnerabilidad social es el grado de daños que puede sufrir un grupo humano y está en función de aspectos socioeconómicos, psicológicos y culturales. La exposición se refiere al tamaño y costo de los bienes que se podrían perder ante la amenaza sísmica. Se incluye la economía y la producción. La interacción de estos tres factores determina los daños o pérdidas que puede sufrir una sociedad por causa de un evento sísmico. El riesgo sísmico crece cuando alguno de los factores aumenta.

La provincia de Tucumán se ubica en la región noroccidental de Argentina, que se caracteriza por una moderada sismicidad, de acuerdo al Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), **INTI-CIRSOC103** (2013), como se observa en la figura 1. La ciudad de San Miguel de Tucumán, capital de la provincia de Tucumán, es un aglomerado urbano densamente poblado y es también un territorio donde se desarrollan actividades productivas que sustentan la economía de la provincia. El INPRES califica a la región como zona sísmica 2, es decir amenaza sísmica moderada. La expansión edilicia se lleva a cabo con control de sismorresistencia apoyada en esta calificación.

Este trabajo pone énfasis en la evaluación expeditiva de la vulnerabilidad edilicia aplicando el programa SELENA, para el municipio de San Miguel de Tucumán.

SELENA estima el riesgo de daño a estructuras y personas en el caso de un evento sísmico, permitiendo anticipar las consecuencias de futuros terremotos y desarrollar estrategias para reducir el riesgo.

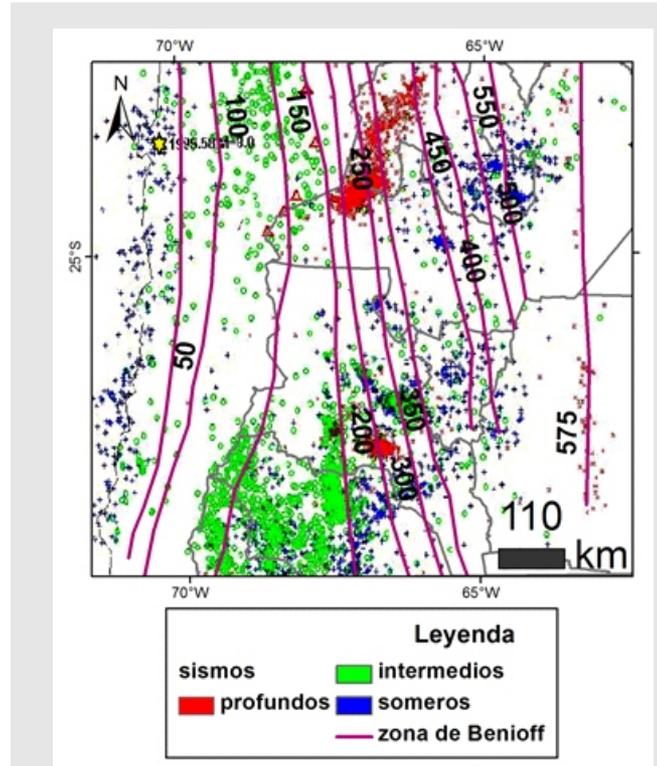


Fig. 1 Ubicación de la provincia de Tucumán en el contexto sísmico del Noroeste. Los epicentros están discriminados por profundidad de los focos. Las isobatas son al techo de la placa de Nazca.

Marco Sismológico Regional

San Miguel de Tucumán está emplazada sobre la transición entre las provincias tectónicas de Cordillera Oriental y de Sierras Subandinas. La región es parte de la faja plegada y corrida de los Andes, cuya deformación involucra un basamento Paleozoico y más antiguo, cubierto por estratos del Mesozoico y Cenozoico. En la zona de estudio las estructuras geológicas tienen doble vergencia, con fallamiento inverso tanto hacia el Este como hacia el Oeste. Una intensa actividad sísmica acompaña la expansión de la faja plegada y corrida hacia el antepaís. Los focos sísmicos se agrupan en dos conjuntos principales. Un conjunto está asociado con la interfase cratón-placa de Nazca, y muestra una clara profundización de Oeste a Este, desde el océano Pacífico hasta el límite oriental de las Sierras Subandinas. El otro conjunto de focos mantiene una profundidad media constante y somera (en general menor a 50 km) y está asociado con fallas en Cordillera Oriental y Sierras Subandinas.

Metodología

Se puso énfasis en cuatro aspectos del proceso de análisis: la identificación de las fallas probablemente activas, la delimitación de zonas sísmicas, la evaluación de la amenaza sísmica por métodos determinístico y probabilístico, y la evaluación expeditiva de la vulnerabilidad edilicia aplicando el programa SELENA. La identificación de las fuentes sismogénicas se realizó en un círculo de 150 km con centro en San Miguel de Tucumán. A esta distancia, la aceleración del suelo generada por sismos de magnitud entre 8 y 9 mayormente cae por debajo de 10% de la gravedad. Se analizaron los catálogos de sismicidad de la Advanced National Seismic System (ANSS) y del INPRES, por un total de aproximadamente 6 mil eventos. La figura 1 muestra la distribución de epicentros sísmicos en el NOA, distinguidos por profundidad de los focos. Las isobatas dan profundidad al techo de la placa de Nazca.

Se tomaron en consideración los epicentros someros. Los focos asociados con la placa de Nazca están a más de 150 km de San Miguel de Tucumán y no se consideraron. Las fallas reconocidas se compilaron incluyendo el tipo de movimiento y el largo de la traza en superficie. Se correlacionó visualmente epicentros y fallas, tomando en consideración la inclinación de la falla y la incertidumbre en la posición horizontal de los epicentros. Se consideró que un epicentro es asignable a una determinada falla si el epicentro cae sobre la traza de la falla, o muy cerca de ella, y si dos o más epicentros ocurren alineados con rumbo paralelo a la falla a menos de 20 km de la traza. En esos casos se supuso que esa falla es activa en sentido estricto (actividad en los últimos 10 mil años) y también capaz ("capable fault") por haber roto la superficie. Se estimó el potencial sismogénico de las fallas inversas probablemente activas en función del largo en superficie. Tomando en cuenta la densidad de fallas y de epicentros se delimitaron seis zonas sísmicas areales, **Abascal y González Bonorino(2017)**.

Identificación de las fallas de control para el GSMT

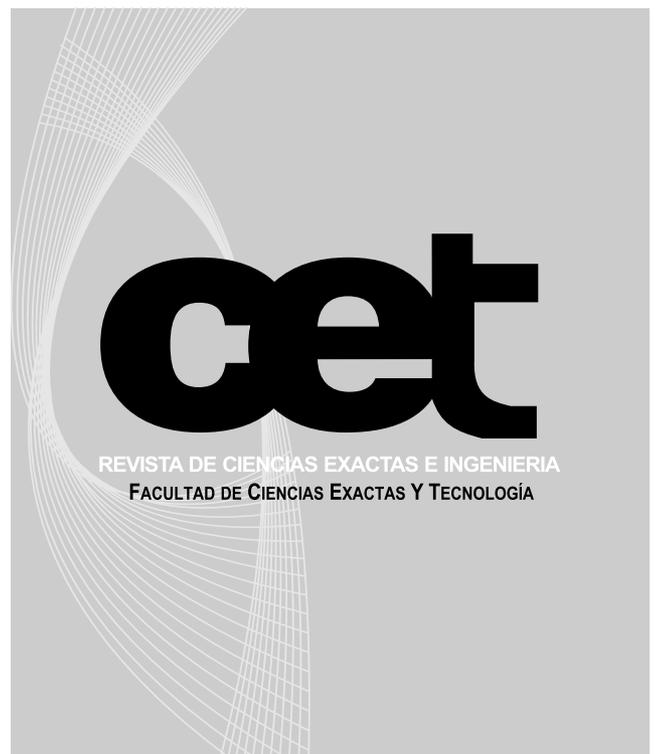
Se aplicaron las relaciones de movimiento de suelo de **Boore and Gail (2008)**, **Campbell and Bozorgnia (2008)**, **Chiou and Youngs (2008)**, las más modernas publicadas por el Proyecto Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center's Next Generation Attenuation (NGA), con más de 3.500 registros instru-

mentales de sismos someros corticales en regiones tectónicamente activas. Estos tres modelos tienen óptima validez a distancias epicentrales menores de 200 km y magnitudes entre 5 y 8, y permiten calcular las aceleraciones espectrales para períodos entre 0 y 10 segundos, así como la aceleración y la velocidad máximas.

Se analizó la profundidad sismogénica, es decir, el espesor de la corteza susceptible de generar sismos, que está limitado por la profundidad del pasaje de condición frágil a dúctil, lo cual ocurre a la profundidad de la isoterma de 350°, aproximadamente, **Watts and Burov (2003)**. En varias regiones del globo, el espesor de la zona sismogénica raramente excede de 20 km; sismos corticales más profundos pueden ocurrir pero suelen ser más débiles, **Watts and Burov (2003)**. Se concluyó para el área de estudio que los focos están a profundidades de entre 10 km y 20 km.

Cálculo determinístico del movimiento del suelo en el GSMT

El modelo determinístico se basó en la evaluación del potencial sismogénico de fallas expuestas en superficie, clasificadas como activas en este estudio por correlación con epicentros instrumentales.



Cálculo probabilístico del movimiento del suelo para el GSMT

Se utilizaron $T=0.01, 0.3$ y 1.0 segundos. La modelización probabilística complementa la determinística, agregando tasas de excedencia de aceleraciones críticas. El primer paso en el armado de un modelo probabilístico es identificar el tipo y la ubicación de las fuentes sismogénicas en que se basará. Dos clases dominantes de fuentes sismogénicas son la areal y la lineal. La fuente areal se basa en la distribución de los focos sísmicos. La fuente lineal está representada por las fallas, figura 2.

Se construyeron curvas de excedencia en 50 años para $T=0.01, 0.2$ y 1.0 . Se puntualizan valores para una intensidad de $0.5g$, figura 3.

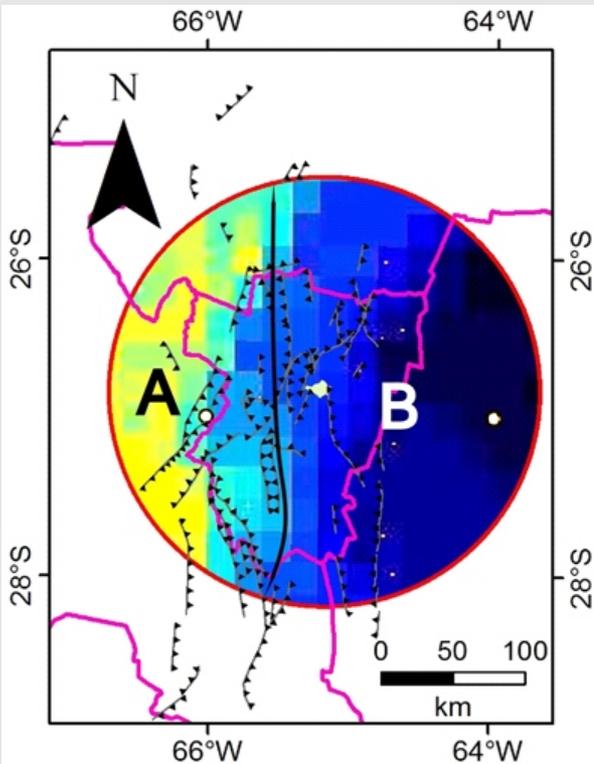


Fig. 2 Cálculo probabilístico del movimiento del suelo en SMT para $T=0,01, 0,2$ y $1,0$ segundos. La figura abajo muestra la división en zonas sísmicas, fuentes areales y las fallas activas en el ADI.

El modelo probabilístico se calculó con el programa CRISIS 2015, Ordaz et al. (2001). Se procesó un modelo para cada relación de atenuación, las mismas empleadas en el análisis determinístico y para tres tiempos de recurrencia: 72 años (probabilidad de excedencia de 50% en 50 años), 475 años (probabilidad de excedencia de 10% en 50 años) y 2475 años (probabilidad de excedencia de 2% en 50 años).

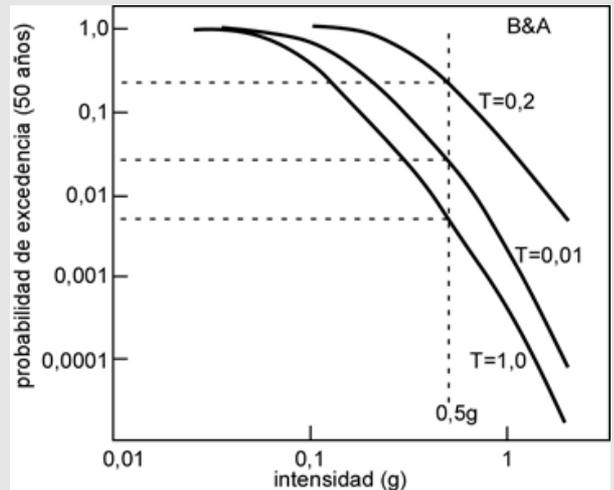


Fig. 3 Se construyeron curvas de excedencia en 50 años para $T=0,01, 0,2$ y $1,0$. Se puntualizan valores para una intensidad de $0,5g$.

Vulnerabilidad

En el ámbito de la investigación y desarrollo del riesgo se acepta que el modelado matemático de los fenómenos físicos que ocasionan los desastres y las pérdidas generadas por dichos fenómenos se haga desde un enfoque probabilista. El detalle de los modelos depende de la cantidad de información disponible.

Para determinar las características que determinan el grado de vulnerabilidad física es preciso evaluar el daño que podrían sufrir la infraestructura y los bienes de la comunidad. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL (2005), considera que se debe contar con la siguiente información:

- Grado de desarrollo y cumplimiento de la normativa de construcción.
- Características de las edificaciones y de la infraestructura física: calidad y tipos de construcción, antigüedad y estado de conservación.
- Información de daños ocurridos en el pasado.
- Modelos matemáticos de vulnerabilidad.
- Existencia de programas de rehabilitación y mantenimiento de estructuras.

Modelización con Selena

La simulación aplica el programa de computación SELENA (Seismic Loss Estimation using a logic tree Approach; **Molina et al.** (2010)), en modos determinístico y probabilístico.

SELENA se enfoca sobre dos de las posibles consecuencias de un terremoto, los daños a edificios y las lesiones a personas. La metodología implementada en SELENA está basada en la del programa HAZUS-MH, **FEMA** (2003), una potente herramienta para el cálculo de riesgo de origen natural implementada por la agencia federal de emergencia ambiental de los EEUU (Federal Emergency Management Agency, FEMA). A diferencia de HAZUS-MH, cuyos resultados son estimaciones óptimas, SELENA trabaja con un esquema de árbol lógico y así toma en cuenta la indeterminación en los valores de ciertos parámetros. SELENA supone que el sustrato de las construcciones se comporta de modo elástico o plástico y no considera fenómenos de licuefacción.

Los datos de ingreso necesarios para operar con SELENA son aquellos que describen la fuente sismogénica y la atenuación de la energía sísmica con la distancia al epicentro, la cualidad sismorresistente y el valor monetario (por m²) de las construcciones, y cierta información demográfica. La secuencia operativa de SELENA se resume en el diagrama de flujo de la figura 4, **Abascal and González Bonorino** (2014). La estructura de árbol lógico permite que - para una misma variable - se ingresen valores diferentes, ponderados según la presunta influencia sobre el riesgo, con el propósito de abarcar la incertidumbre epistémica así

como la variabilidad natural del fenómeno sísmico, y de factores económicos y sociales.

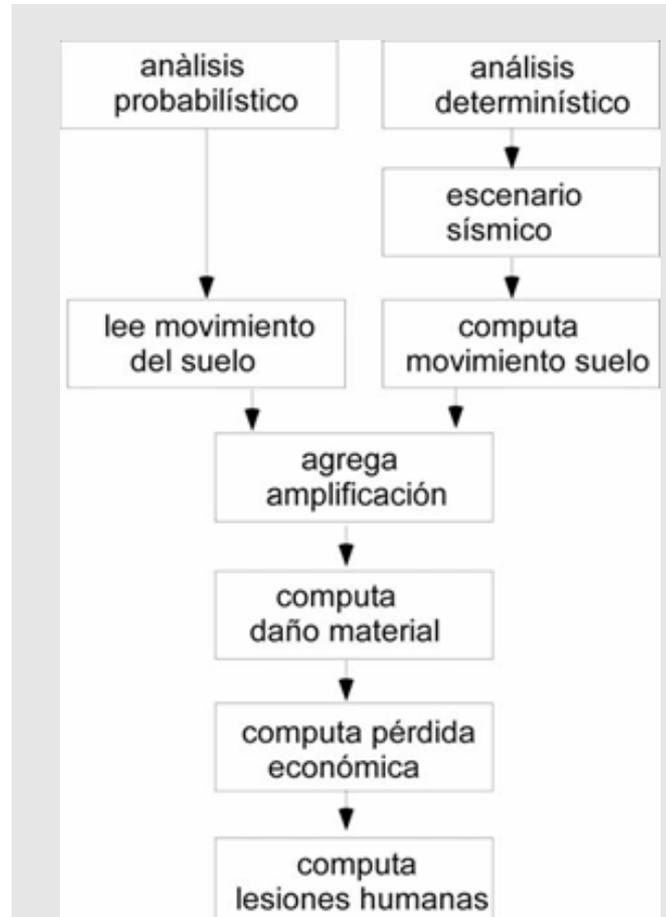


Fig. 4 Diagrama de flujo que representa la secuencia operativa del programa SELENA.

En la tabla 1 se describe el contenido de los archivos empleados en este estudio. Los procesos de análisis probabilístico y determinístico se distinguen en que el determinístico calcula el valor de la aceleración del

suelo en base a los datos de atenuación y sismicidad, mientras que el probabilístico lee esos valores de un archivo de entrada. Se corrieron dos simulaciones determinísticas y una probabilística.

Tabla 1: Archivos con datos de ingreso requeridos por SELENA

Archivos	Descripción
soilfiles.txt	Apunta a los archivos soilcenteri.txt; puede incluirse más de un archivo con ponderación relativa
soilcenteri.txt	Coordenadas del centro de cada sector en que se dividió la ciudad y el tipo de suelo dominante en esa zona (clasificación del NEHRP, National Earthquake Hazards Reduction Program; ver texto); ponderación relativa
vulnerability.txt	Refiere al conjunto de 2 archivos: capacityi.txt y fragilityi.txt; puede incluirse más de un conjunto con ponderación relativa
capacityi.txt	Parámetros para calcular el límite de resistencia elástica a la deformación horizontal de un edificio (tomados de FEMA (2003))
fragilityi.txt	Parámetros para calcular la probabilidad de que el valor de la deformación horizontal de un edificio caiga dentro de un cierto nivel de daño, o lo supere (tomados de FEMA (2003))
ecfiles.txt	Refiere al conjunto de 4 archivos: elosssdi.txt, elossmdi.txt, elossed.txt, y elosscdi.txt; puede incluirse más de un conjunto ponderación relativa
eloss__i.txt	Costo monetario estimado por m ² de construcción para reparar o reemplazar el daño estructural
builtarea.txt	Superficie en m ² que ocupa cada uno de los tipos estructurales de edificación considerados en la simulación
numbuild.txt	Número de edificios de cada tipo estructural considerado en la simulación
ocupmbti.txt	m ² adjudicados a cada una de las categorías de uso en cada uno de los tipos estructurales de edificación considerados en la simulación
population.txt	Número de habitantes en cada sector en que se dividió la ciudad
poptime.txt	Proporción de la población que se encuentra fuera o dentro de un edificio según las franjas horarias matutina (10 horas), vespertina (17 horas) y nocturna (2 horas) y el tipo de ocupación de cada edificio
ocupmbtp.txt	Distribución de la población entre los distintos tipos estructurales de edificación
injuryi.txt	Número de lesionados y muertes, según el nivel de daño estructural, para cada uno de los tipos estructurales de edificación, clasificado por gravedad de las lesiones; valores tomados de tablas 13.3 a 13.7 en FEMA (2003)
debris.txt	Toneladas/100 m ² de escombros según tipo de construcción; tabla 12.1 en FEMA (2003)
earthquake.txt	Máximo terremoto considerado: coordenadas del epicentro, magnitud, rumbo e inclinación de la falla asociada y profundidad al foco
attenuation.txt	Relaciones de atenuación empleadas para estimar PGA, Sa0,3 y Sa1,0; ponderación relativa
shakefiles.txt	Refiere a los archivos shakecenteri.txt; puede incluirse más de un archivo con ponderación relativa
shakecenteri.txt	Valores de PGA, Sa 0,3 seg y Sa 1,0 seg para cada sector

Evaluación del potencial del sustrato para amplificar las vibraciones sísmicas

Tineo (2000) estableció la estratigrafía general del subsuelo bajo San Miguel de Tucumán. El área de estudio se incluye en la Cuenca de la Llanura Oriental, subcuenca de Burruyacu, definidas por **Tineo** (2000). El espesor total por encima de roca dura es de entre 200 y 300 metros. La columna se compone de sedimentos del Cuaternario, en la mitad superior, y probablemente del Plioceno en la mitad inferior.

Portocarrero (2011) relevó por perfilaje de resistividad (VES) el subsuelo somero al Sur de San Miguel de Tucumán, al Norte de Monteros. La estratigrafía dominante consiste de capas de baja resistividad asociadas con el suelo orgánico superficial y con un acuífero libre, y por debajo, capas granulares de resistividad mediana a alta, que en partes alojan acuíferos confinados o semiconfinados.

Observaciones hechas por los responsables del presente estudio en excavaciones para edificios de altura, indican que los 10 metros superficiales, aproximadamente, están constituidos por arena limosa moderadamente consolidada. El sustrato en San Miguel de Tucumán consiste de capas arenosas con delgadas intercalaciones arcillosas. El depósito está moderadamente consolidado. La velocidad de corte en este tipo de suelo se estimó en alrededor de 300 m/seg. En términos de la clasificación geotécnica de suelos en uso en sismología, **Building Seismic Safety Council** (2003), este suelo clasifica como tipo D, suelo rígido.

Construcción de espectros de respuesta con efecto suelo

El espeso relleno sedimentario que subyace en San Miguel de Tucumán tiene potencial para amplificar la señal sísmica respecto del valor en roca, y debe ser considerado en el cálculo del espectro de respuesta.

Los datos necesarios son el carácter geotécnico del suelo, categorizado como de tipo D y el valor de S_a para 0,2 segundos, la aceleración espectral para 0,2 segundos que se fijó en $S_a 0,2=0,90g$. El espectro de respuesta con efecto suelo se muestra en la figura 5.

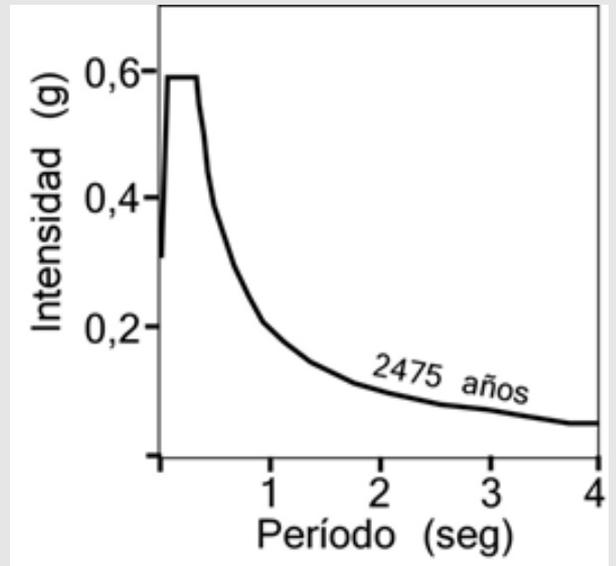


Fig. 5 Espectro de respuesta con efecto suelo.

Estimación de la vulnerabilidad estructural

Clasificación edilicia según parámetros SELENA y GEM (Global Earthquake Model); incluyendo valor del metro cuadrado de construcción

Una evaluación precisa de la sismorresistencia de un edificio requiere considerable tiempo de inspección y de cálculo. Proceder de ese modo con miles de edificios que pueden componer una ciudad implicaría un ingente esfuerzo en horas hombre y en dinero.

Una alternativa que se está aplicando en muchas ciudades consiste primero, en representar el universo de construcciones por un número limitado de tipologías, por ejemplo, construcciones en metal, en madera o en hormigón, con variantes en cada tipo principal, luego

caracterizar la sismorresistencia de cada uno de los tipos de construcción, tercero, definir la proporción con que cada tipología ocurre en una ciudad, y finalmente, evaluar la vulnerabilidad promedio. En SELENA se utilizan 36 tipos edilicios. Ver tabla 2.

Tabla 2: Tipos edilicios considerados en SELENA

No.	Identificador	Descripción	Altura
1	W1	Wood, Light Frame	
2	W2	Wood, Commercial and Industrial	
3	S1L	Steel Moment Frame	Low-Rise
4	S1M		Mid-Rise
5	S1H		High-Rise
6	S2L	Steel Braced Frame	Low-Rise
7	S2M		Mid-Rise
8	S2H		High-Rise
9	S3	Steel Light Frame	
10	S4L	Steel Frame with Cast-in-Place Concrete Shear Walls	Low-Rise
11	S4M		Mid-Rise
12	S4H		High-Rise
13	S5L	Steel Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	Low Rise
14	S5M		Mid-Rise
15	S5H		High-Rise
16	C1L	Concrete Moment Frame	Low-Rise
17	C1M		Mid-Rise
18	C1H		High-Rise
19	C2L	Concrete Shear Walls	Low-Rise
20	C2M		Mid-Rise
21	C2H		High-Rise
22	C3L	Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	Low-Rise
23	C3M		Mid-Rise
24	C3H		High-Rise
25	PC1	Pre-cast Concrete Tilt-Up Walls	
26	PC2L	Pre-cast Concrete Frames with Concrete Shear Walls	Low-Rise
27	PC2M		Mid-Rise
28	PC2H		High-Rise
29	RM1L	Reinforced Masonry Bearing Walls with Wood or Metal Deck Diaphragms	Low-Rise
30	RM1M	Mid-Rise	
31	RM2L	Reinforced Masonry Bearing Walls with Pre-cast Concrete Diaphragms	Low-Rise
32	RM2M		Mid-Rise
33	RM2H		High-Rise
34	URML	Unreinforced Masonry Bearing Walls	Low-Rise
35	URMM		Mid-Rise
36	MH	Mobile Homes	

Resultados

Efecto suelo

El relleno sedimentario en el subsuelo de San Miguel de Tucumán alcanza espesores de entre 200 y 300 m. La columna se compone de sedimentos moderadamente consolidados del Cuaternario y Plioceno. La velocidad de corte en este tipo de suelo se estimó en alrededor de 300 m/seg. En términos de la clasificación geotécnica de suelos en uso en sismología, este suelo clasifica como tipo D, suelo rígido. El efecto suelo está representado por los factores $F_a=1,14$ y $F_v=1,5$, en el cálculo del espectro de respuesta.

Vulnerabilidad edilicia

San Miguel de Tucumán tiene alrededor de 125.000 edificios¹, entre los cuales unos 1.000 edificios son de altura. Los edificios incluyen viviendas familiares, locales comerciales e industriales, y edificios públicos. En este estudio se representó el universo de construcciones en San Miguel de Tucumán por cuatro tipologías edilicias: C1L – Hormigón armado con refuerzo de una o dos plantas (casi exclusivamente casas de barrio), S1L – Estructuras con vigas y columnas de

acero, C1H – Hormigón armado con refuerzo de 4 o más plantas (principalmente edificios de altura), y URML – Mampostería sin refuerzo de una o dos plantas (casas más antiguas y muchos edificios públicos construidos hace más de 40 años. Ver tabla 3. El porcentaje que representa cada tipo se determinó mediante un muestreo estadístico estratificado aleatorio, dividiendo SMT en seis sectores y asignando aleatoriamente puntos de muestreo cubriendo todos los sectores. Cada punto identificó una manzana y se clasificaron todos los edificios de esa manzana. El tipo C1L se encuentra en proporción de entre 30 y 63%, el C1H entre 0 y 25%, el S1L entre 5 y 15%, y el URLM entre 20 y 35%.

La sismorresistencia y la vulnerabilidad de cada tipo edilicio se representaron mediante curvas de capacidad y de fragilidad, respectivamente. En SELENA, las curvas de capacidad se combinaron con el espectro de demanda para una recurrencia de 475 años, para identificar los puntos de desempeño para cada tipología edilicia y seguidamente estimar la probabilidad de daños materiales y humanos, aplicando las curvas de fragilidad.

Tabla 3: Caracterización edilicia para San Miguel de Tucumán

	C1L	C1H	S1L	URML
	Hormigón Armado Sismorresistente	Hormigón Armado Sismorresistente	Estructuras con vigas y columnas de Acero	Muros de Albañilería
Centro	30%	25%	10%	35%
Centro Sur	40%	15%	10%	35%
Residencial con baja actividad comercial y baja actividad industrial	60%	5%	15%	20%
Residencial con baja actividad comercial	63%	2%	10%	25%
Residencial	70%	0%	5%	25%

¹. Información del Censo INDEC, 2010

Conclusiones

Los resultados obtenidos para San Miguel de Tucumán ante la ocurrencia de un sismo de magnitud 6,3 en la escala de Richter son:

- Viviendas dañadas: alrededor de 20 mil.
- Costo de reparación/sustitución: entre 10 y 20 millones de dólares.
- Personas heridas: entre 0 y 30.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó con financiamiento obtenido mediante el Proyecto PDS 325-CIN-UNT-CONICET. La colaboración de Defensa Civil Municipal a través de la participación del Ing. Eduardo Valdez, ha sido importante para alcanzar los objetivos. Se agradece al Ing. Franklin Adler la generosa contribución de información geotécnica. También se agradece las observaciones realizadas por el árbitro de la revista cet.

Referencias Bibliográficas

- Abascal, L. del V. y González Bonorino, G.** (2014) "Evaluación del riesgo sísmico para Tolhuin, Tierra del Fuego, Argentina, aplicando el programa Selena", *ASAGAI*, Vol. 33, pp. 93-106.
- Abascal, L. del V. y González Bonorino, G.** (2017) "Riesgo sísmico urbano. El caso del Gran San Miguel de Tucumán". En: *Actas del Congreso Geológico*, Tucumán, Argentina.
- Boore, D. M. y Gail, M. A.** (2008) "Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, and 5%-Damped PSA at Spectral Periods between 0.01s and 10.0 s", *Earthquake Spectra*, Vol. 24, N°. 1, pp. 99-138.
- Building Seismic Safety Council** (2003) "NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures (FEMA 450)", *National Institute of Building Sciences*.
- Campbell, K.W. y Bozorgnia, Y.** (2008) "NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10 s", *Earthquake Spectra*, Vol. 24, N°. 1, pp. 139-171.
- Chiou, B.S. and Youngs, R.R.** (2008) "An NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra", *Earthquake Spectra*, Vol. 24, N°. 1, pp. 173-215.
- FEMA** (2003) NEHRP Recommended Provisions for New Buildings and Other Structures. Fema 450. Federal Emergency Management Agency. Washington D.C.
- INTI-CIRSOC103** (2013) "Reglamento argentino para construcciones sismorresistentes. Parte I. Construcciones en general". Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 87 pp., Buenos Aires.
- Molina, S., Lang, D. H. and Lindholm, C. D.** (2010) "SELENA – An open-source tool for seismic risk and loss assessment using a logic tree computation procedure". *Computers & Geosciences*, Vol. 36, pp. 257–269.
- Ordaz, M., Aguilar, A. and Arboleda, J.** (2001) "CRISIS 99-18 ver. 1.018. "Program for Computing Seismic Risk", *Instituto de Ingeniería*, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Portocarrero, R.** (2011) "Interacción agua superficial-acuífero libre y el contenido de nutrientes en la cuenca del arroyo El Tejar, Departamento Monteros, provincia de Tucumán". Tesis. *Universidad Nacional de Tucumán*.
- Tineo, A.** (2000) "Las cuencas sedimentarias de edad cuaternaria en Tucumán", En: *1st Joint World Congress*

on *Groundwater*, Tucuman, Argentina, 18 pp.

Watts, A.B. and Burov, E.B. (2003) "Lithospheric strength and its relationship to the elastic and seismogenic layer thickness", *Earth and Planetary Science, Letters*, Vol. 213, pp. 113-131.

Este artículo se realizó en el marco del Proyecto CIN-CONICET PDS N°325 "Escenarios de daños por sismos cercanos para el Gran San Miguel de Tucumán, provincia de Tucumán", durante el período 2015-2019 en la UNT, integrado por docentes investigadores de FACET, Cs Naturales e IML y CONICET.

Liliana del Valle Abascal

Geóloga, graduada en la Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Postgrados: Doctora en Geología, orientación Geología Estructural en la UNT y Mastère Spécialisé "Gestion de l'Eau" (BAC+6) Ecole AgroParisTech-ENGREF, Francia. Desarrolló su carrera profesional en el ámbito de las Ciencias de la Tierra, como docente universitaria, investigadora y consultora, en las Universidades Nacionales de Tucumán, Salta y Tecnológica en la provincia de Tierra del Fuego, donde también se desempeñó como Secretaria de Ciencia y Tecnología (2008-2012) y miembro del Consejo Asesor de CyT-UTN. Realizó estancias de investigación en Francia, España y Estados Unidos. Dirigió proyectos de I+D+i. Miembro de AGA, IARH, ASAGAI y la Association of Engineering Geologists-USA. Presidenta Honoraria "Comisión de la Antártida" Ushuaia, 2009. Experiencia laboral en temas sobre agua en el Oasis de Skoura, Marruecos y comunidades Wichi y Qom, Formosa, Argentina. Por pedido de la AFD abordó el tema "Teoría de los Comunes aplicada al servicio de agua potable", 2017.

Gustavo González Bonorino

Licenciado en Geología, graduado en la Universidad de Buenos Aires (1970), Master of Science (M.Sc.; 1973) y Doctor in Philosophy (Ph.D.; 1979) en McMaster University, Canadá. Empleos en: Fundación Bariloche, Bariloche, 1974-1975, Université Paris VI, Paris, Francia, 1978-1980; Universidad de Buenos Aires, 1992-1995; Universidad Nacional de Salta, 1998-2004, Mobil Oil Canada, Calgary, Canadá, 1973; Pluspetrol S.A., Buenos Aires, 1980-1982, y Servicio Geológico-Minero Argentino, SEGEMAR, Buenos Aires, 1984-1991. En 1984 ingresó al CONICET donde alcanzó el cargo de Investigador Principal. Entre 2004 y 2009, fue Director del Centro Austral de Investigaciones Científicas, CONICET, Ushuaia. Presidente del XIV Congreso Geológico Argentino en 1997-1999, International Scientific Exchange Award del Natural Sciences and Engineering Research Council de Canadá (NSERC) en 1993. Profesor Invitado de la Universidad de Barcelona en 1995 y 1998, becario Fulbright en 2000, Profesor Invitado de la Universidad de Syracuse, Nueva York, en 2008-2009.

Lidia María Benítez

Licenciada en Matemática. graduada de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Magister en Estadística Aplicada con el tema de Tesis "Evaluación del Peligro Sísmico entre los paralelos 22° y 28° de latitud sud y los meridianos 63° y 68° de longitud oeste". Profesora Asociada de Bioestadística y Estadística para Lic. y Prof. en Cs Biológicas y Arqueología, respectivamente de la Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo de la Universidad Nacional de Tucumán. Investigadora del CIUNT. Tiene publicados trabajos en Libros,

Resúmenes de Congresos, Jornadas y en Revistas Nacionales e Internacionales. Actualmente Codirectora de un Proyecto CIUNT e Integrante del Proyecto PDTS Universidad-CIN titulado "Escenario de daños por sismos cercanos para el Gran San Miguel de Tucumán".

Sonia Bibiana Benítez

Licenciada en Matemática, graduada en la Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Especialista en Investigación Educativa. Magíster en la Enseñanza de la Educación Superior. Profesora Asociada de la Cátedra de Matemática para las carreras Lic. y Prof. en Cs. Biológicas de la Facultad de Cs. Naturales e I. M. Lillo de la Universidad Nacional en Tucumán. Investigadora del CIUNT. Directora de Proyecto de Investigación: Matemática y Estadística su rol fundamental en las Ciencias Naturales. Elaboración, Análisis y Evaluación de Estrategias tendientes al mejoramiento del Proceso Enseñanza-Aprendizaje. Integrante: Proyecto PDTS Universidad-CIN. Escenarios de Daños por Sismos cercanos para el Gran San Miguel de Tucumán. Asistió a 75 Reuniones Científicas entre Talleres, Jornadas y Cursos de perfeccionamiento. Publicó 7 libros y 17 capítulos de libros. Publicó 22 trabajos en libros de congresos. Participó en diversos Cursos de Perfeccionamiento Disciplinarios y Pedagógicos.

Pablo Agustín Arévalo

Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán. Edad: 27 años. Estudios secundarios completos en el Instituto Salesiano Lorenzo Massa, con el título de Técnico en Electrónica. En la actualidad se encuentra llevando a cabo su Proyecto Final "Tratamiento y Disposición Final de RSU de la Ciudad de Famaila" como estudiante de la carrera de Ingeniería Civil. Ayudante de la Cátedra de Geología Básica de la Carrera de Ingeniería Civil desde el año 2014. Ex integrante de ANEIC Tucumán (Asociación Nacional de Estudiantes de Ingeniería Civil). Estuvo como pasante en el Proyecto del Canal Solano Vera – San Luis en Yerba Buena, Tucumán.



REVISTA DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERIA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGIA

www.facet.unt.edu.ar/revistacet