



Universidad Nacional de Jujuy
Facultad de Ingeniería



XI JORNADAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DE FACULTADES DE INGENIERÍA DEL NOA
San Salvador de Jujuy, 23 y 24 de Junio de 2016



Estimación de la vulnerabilidad sísmica del sector sur de la Ciudad de Salta – Nivel preliminar

Galíndez¹, Fernando, Orosco², Lía E., Haarala², Mika y Lesser^{2,1}, Néstor

(1) *Facultad de Arquitectura, Universidad Católica de Salta.*

ecosol@ucasal.edu.ar

(2) *Instituto de Estudios Interdisciplinarios de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Salta.*

lorosco@ucasal.edu.ar, mika.haaralarosco@gmail.com

RESUMEN: el objetivo de este trabajo es determinar la vulnerabilidad media de sectores en la parte sur de la ciudad, en un nivel preliminar, esto es contemplando parámetros básicos que permitan tener una visión de conjunto para en etapas posteriores realizar estimaciones más detalladas en zonas o unidades que resulten más comprometidas en esta primera evaluación. Se distinguen dos sectores: los que muestran características homogéneas de construcción y los que por el contrario son heterogéneos. Para el primer grupo se aplica el método del Índice de Vulnerabilidad, adaptado a las características locales de construcción y datos disponibles. En sectores heterogéneos se evalúa la vulnerabilidad mediante análisis de datos relevados por encuestas, según criterio de la escala de intensidad macrosísmica EMS98. Para la toma de datos, se adoptó una metodología de muestreo aleatorio con reemplazo para definir las unidades que serían encuestadas. Los resultados muestran que la vulnerabilidad media de la zona sur estudiada puede clasificarse de mediana a alta.

ABSTRACT: the objective of this work is to assess the seismic vulnerability of southern region of Salta City in the frame of a first level analysis, taking into account basic parameters. Two sectors are identified: one with homogeneous type of buildings (materials, age, structural system) and another with heterogeneous buildings characteristics. In the first case, Vulnerability Index Method is applied to estimate vulnerability. In the second case, data of buildings necessary to access vulnerability are gathered applying aleatory sampling (with replacement) method. The european macroseismic scale EMS98 vulnerability classification is used. Results show that the mean vulnerability of the studied zone ranges from medium to high level.

Palabras claves: vulnerabilidad sísmica, índice de vulnerabilidad, Salta

Keywords: seismic vulnerability, vulnerability Index, Salta

1 INTRODUCCIÓN

La Ciudad de Salta y su área metropolitana, que significan unos 700.000 habitantes, se sitúa en zona sísmica 3 según la clasificación del INPRES (Instituto Nacional de Prevención Sísmica) lo que implica una peligrosidad sísmica de moderada a alta. El crecimiento poblacional y por ende de edificaciones destinadas a viviendas y a las actividades propias de la sociedad (económicas, culturales, salud, comunicaciones, etc.) no siempre se dio en forma racional o planificada, lo que permite conjeturar que existe un aumento de la vulnerabilidad de la misma, lo que conlleva a un incremento del riesgo sísmico que la amenaza.

Este trabajo es un aporte a los esfuerzos por cuantificar el riesgo sísmico de la ciudad, enfocándose en el problema de la vulnerabilidad física de la misma. Ya se han evaluado sectores de la zona norte de la ciudad (Orosco et al., 2014) por lo que en este trabajo se informa sobre el trabajo realizado en sectores de la parte sur.

No se puede actuar sobre la amenaza natural y aún queda mucho por conocerla, pero sí es posible actuar sobre la vulnerabilidad, pues reduciéndola, consecuentemente se reduce el riesgo. La vulnerabilidad es un término que comprende varias dimensiones, tanto físicas como sociales.



Tabla 1. Modificadores de comportamiento del índice de vulnerabilidad.

Factores de comportamiento		Puntuaciones Mcj según nivel de diseño sismorresistente		
		Cód. nivel bajo	Cód. nivel medio	Cód. nivel alto
Nivel de código		+0,16	0	-0,16
Mantenimiento deficiente		+0,04	+0,02	0
Altura o n° de plantas	Bajo (1 o 2)	-0,04	-0,04	-0,04
	Medio (3 a 5)	0	0	0
	Alto (6 o más)	+0,08	+0,06	+0,04
Irregul. en planta	Forma	+0,04	+0,02	0
	Torsión	+0,02	+0,01	0
Irregularidad vertical		+0,04	+0,02	0
Columna corta		+0,02	+0,01	0
Ventanas en arco		+0,04	+0,02	0
Edificios agregados (con juntas sísmicas insuficientes)		+0,04	0	0
Cimientos	Vigas	-0,04	0	0
	Vigas conect.	0	0	0
Morfología del terreno	Apoyo aislado	+0,04	0	0
	Pendiente	+0,02	+0,02	+0,02
	Acant.	+0,04	+0,04	+0,04

En este caso se considera sólo la vulnerabilidad física, aquella que define el estado de las edificaciones ante la amenaza de un sismo intenso.

Hay varias maneras de estimar la vulnerabilidad sísmica física, dependiendo de la cantidad y calidad de datos con que se cuente, el objetivo del estudio y los recursos humanos y económicos involucrados.

Se han considerado en primer lugar dos características de las edificaciones que han definido la metodología a utilizarse. Aquellos sectores con viviendas construidas en base a programas nacionales (por ejemplo Instituto Provincial de la Vivienda, IPV) se los denomina “homogéneos” mientras que aquellos en los que prima la autoconstrucción, se los identificó por sus características como “heterogéneos”.

2 VULNERABILIDAD EN SECTORES DE CONSTRUCCIONES HOMOGÉNEAS

2.1 Método del Índice de Vulnerabilidad

El método del índice de vulnerabilidad es una síntesis entre la escala macrosísmica europea (EMS98) y el método italiano. Se calcula el índice de vulnerabilidad de cada edificio, el cual varía entre 0 y 1, siendo más cercano a 1 cuanto más vulnerable es el edificio. Este método, desarrollado en la Universidad de Génova, es adaptado por el Proyecto Risk-UE (Lagomarsino et al., 2002) para la simulación y análisis de escenarios sísmicos. Es un método de fácil aplicación y su principal ventaja reside en poder captar además de las características estructurales de los edificios, aquellas que se derivan de la geometría en planta, altura y posición. El índice de vulnerabilidad característico de cada edificio se calcula con la siguiente ecuación:

$$VI_{\text{edificio}} = VI_{\text{clase}} + \Delta Mr + \sum_{j=1}^n Mc_j \quad (1)$$

donde el índice de vulnerabilidad básico de la clase a la que pertenece el edificio (VI_{clase}) se obtiene de valores definidos según la tipología del edificio, al que se suma un modificador regional (ΔMr) y una serie de modificadores por comportamiento (M_{c_j}) los cuales incluyen una sumatoria de modificadores parciales de comportamiento relacionados con la condición del edificio (Caro et al., 2012).

Se presentan a continuación los índices de vulnerabilidad representativos utilizados en este estudio, según las tipologías estructurales predominantes en la zona evaluada:

RC3.1 – Estructuras de H° A° con muros de rellenos regulares de mampostería no reforzada
 $VI_{\text{clase}} = 0,402$

M4 – Muros de mampostería confinados o reforzados
 $VI_{\text{clase}} = 0,451$

En cuanto al modificador de comportamiento, el mismo se obtiene a partir de la suma de los valores parciales de comportamiento obtenidos de la Tabla 1.

2.2 Aplicación a edificios construidos por planes gubernamentales (IPV)

En la zona Sur se realizaron varios barrios por parte de programas gubernamentales, por lo que se presume que todos los edificios en cada uno de ellos son similares, por lo que se asignó un índice representativo a cada barrio, en base a sus características. Los datos necesarios fueron recolectados de publicaciones específicas, análisis de imágenes satelitales y el recorrido por



Universidad Nacional de Jujuy
Facultad de Ingeniería



**XI JORNADAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DE FACULTADES DE INGENIERÍA DEL NOA**
San Salvador de Jujuy, 23 y 24 de Junio de 2016



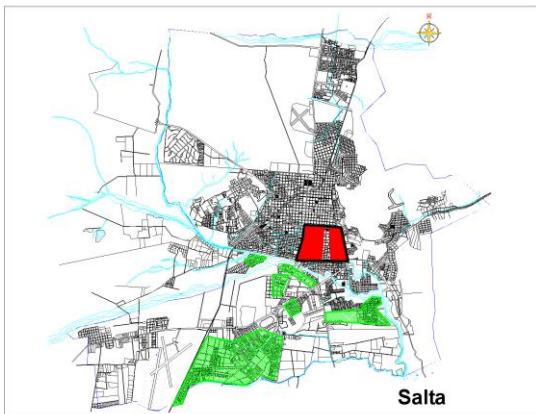
las zonas. De este análisis surgen los valores que se detallan en la Tabla 2 y se grafica en Fig. 2.

3 VULNERABILIDAD EN SECTORES DE CONSTRUCCIONES HETEROGÉNEAS

3.1 Introducción

En párrafos anteriores se informa de procedimientos y resultados del análisis de la vulnerabilidad realizada en sectores considerados homogéneos en cuanto a las características más importantes que determinan la vulnerabilidad sísmica física de la construcción en la zona sur de la Ciudad de Salta.

En esta sección se detalla el procedimiento seguido en un importante sector en que se presentan diferencias en la construcción de viviendas, al que no puede aplicarse el método antes descrito y utilizado, comprendido entre las calles San Martín, Avda Irigoyen, Avda Independencia y Avda Jujuy (sector marcado con línea gruesa en la Fig. 1). En esta área se tienen más de 6000 edificios. No se cuentan con los datos básicos necesarios para evaluar la vulnerabilidad de cada una de las edificaciones, por lo que se evaluará la vulnerabilidad media del sector. Para ello es necesario realizar un trabajo de campo para obtener los datos. Dada la extensión de la zona y los escasos recursos disponibles, surge la necesidad de estudiar el problema del muestreo, a fin de estimar el mínimo número de muestras a tomar, para obtener un resultado estadísticamente significativo.



Figural: Sectores analizados en sur de la Ciudad de Salta

Tabla 2. Índices de Vulnerabilidad (IV) en barrios IPV de la zona sur de Salta

BARRIO	IV
Casino	0,58
El Tribuno	0,61
Intersindical	0,61
Santa Lucía	0,61
San Remo	0,61
Santa Ana (1° a 5° etapa)	0,61
Santa Ana (6° a 10° etapa)	0,56
Bancario	0,61
Edif. Avda Bélgica	0,49
Docente	0,41
Norte Grande	0,49
San Ignacio y Finca Independencia	0,20
Bloque COVISA	0,28
COVIALSA	0,24
Los Periodistas	0,20
Arturo Illia	0,24
Villa Palacio	0,24
Juan Pablo II	0,24
Limache	0,24 – 0,22
Don Emilio	0,24
San Carlos	0,20
Docente	0,20
El Bosque	0,24
Los Ceibos	0,20

3.2 Método de muestro

El teorema del Límite Central establece que si $\{X_1, \dots, X_n\}$ es una secuencia de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas con media $\mu = E(X_n)$ y desviación estándar $\sigma^2 = Var(X_n)$, entonces:

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{n}} \sum_{k=1}^n (X_k - \mu) \xrightarrow{P} \Phi(0,1) \quad (2)$$

donde $\Phi(0,1)$ es una función de distribución normal con media nula ($\mu=0$) y varianza unitaria ($\sigma^2/n=1$). Nótese además que:

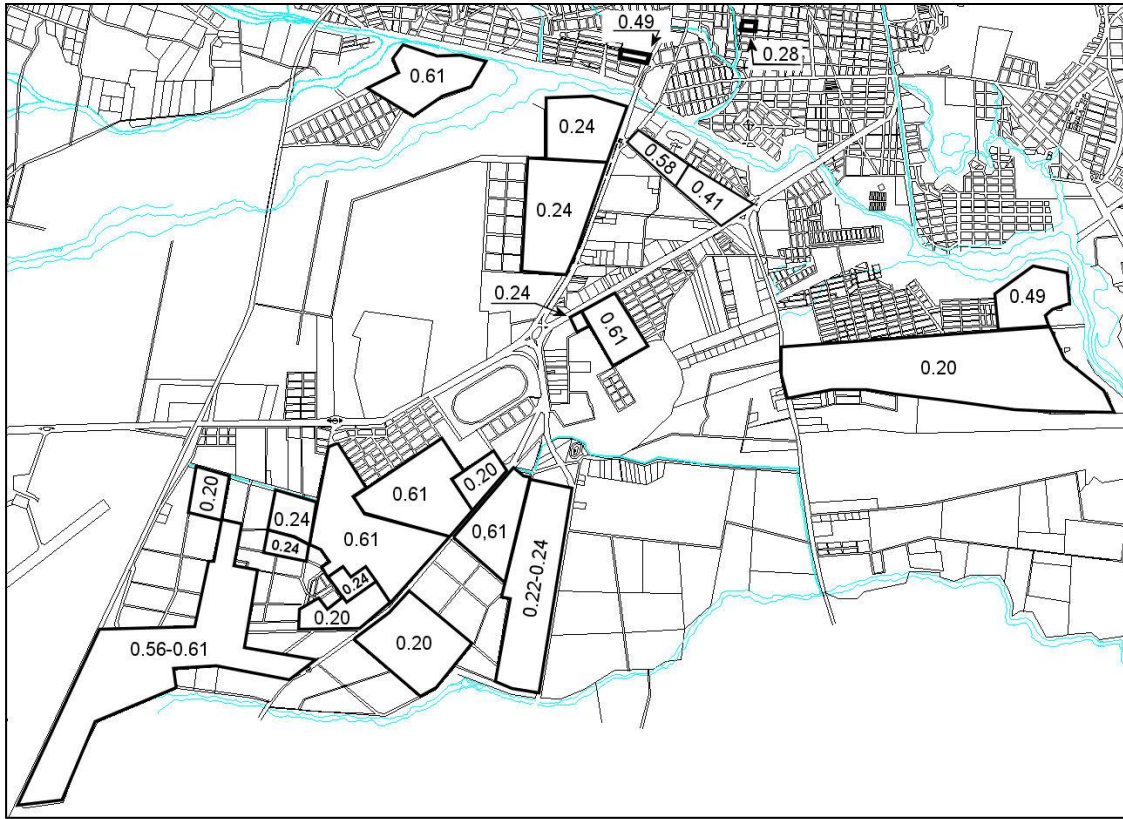


Figura 2. Resultados zonas homogéneas

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{n}} \sum_{k \leq n} (X_k - \mu) = \frac{\sum_{k \leq n} X_k - n\mu}{\sigma\sqrt{n}} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{k \leq n} X_k - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (3)$$

En otras palabras, (2) es lo mismo que

$$\left(\bar{X} = \frac{X_1 + \dots + X_n}{n} \right) \xrightarrow{P} \Phi \left(\mu, \frac{\sigma^2}{n} \right) \quad (4)$$

Aún cuando este resultado no depende de la distribución de la secuencia, la distribución puede afectar el número de variables aleatorias que se necesitan para tener una distribución normal. Por ejemplo, si la secuencia $\{X_n\}$ es normalmente distribuida, n puede tener un valor de 10. En algunos casos este número puede trepar a 10.000. Normalmente, se estipula que al menos $n \geq 30$ cuando se desconoce la distribución.

En la organización catastral de la ciudad, la misma se divide en manzanas y cada manzana en parcelas. Es común que en el caso de edificaciones destinadas a viviendas familiares, cada edificio ocupe una parcela.

Existen casos en que un edificio ocupe más de una parcela o que en una parcela se erijan dos o más edificios o que la parcela sea un baldío. Para este estudio se hace la hipótesis de que cada parcela corresponde a un edificio, que luego en el trabajo de campo se podrá corregir en caso no sea así.

Se utilizará la clasificación de la vulnerabilidad física dada por la escala macrosísmica europea EMS98 (Gruntal, 2002), que reconoce seis categorías A, B, C, D, E y F, de mayor a menor valor de la vulnerabilidad (la categoría A es sísmicamente la más vulnerable).

Hay dos maneras de realizar el muestreo aleatorio, con reemplazo (MACR) o sin reemplazo (MASR). En ambos casos la media (estimador) y el valor esperado de la media se expresan como:

$$\begin{aligned} \bar{Y}(\alpha) &= \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_k(\alpha) \\ E(\bar{Y}(\alpha)) &= \pi(\alpha) \end{aligned} \quad (5)$$

que es un estimador no sesgado (acá α es el índice de la categoría: $\alpha = A, \dots, F$).

La diferencia entre ambos métodos reside en la estimación de la varianza cuyas expresiones son:



$$\text{Var}(X_n) = \frac{\sigma^2}{n} \quad \text{con reemp.} \quad (6)$$

$$\text{Var}(X_n) = \frac{\sigma^2}{n} \frac{N-n}{N-1} \quad \text{sin reemp.}$$

N es el tamaño de la población bajo estudio y n es el número de muestras. En el caso de muestreo sin reemplazo, si $n \ll N$ ó N es muy grande ($N \rightarrow \infty$) la varianza es la misma que en el caso de muestreo con reemplazo,

$$\frac{N-n}{N-1} \approx 1 \quad (7)$$

En este trabajo se utilizará el método de muestreo con reemplazo, apropiado para una distribución multinomial de la población, como es este caso; la distribución multinomial es una generalización de la distribución binomial. Se aplicará al número de muestras n un factor de corrección que refleja menor la relación entre n y N (Chakravarty, Thompson, 1998)

$$\frac{1}{\frac{1}{n} + \frac{1}{N}} \quad (8)$$

Para la zona estudiada se tiene que para una población de medida $N = 6225$ resulta un número de muestras aleatorias (sin aplicación del factor de corrección) de $n = 227$ que corregido resulta en $n = 220$.

Se pueden presentar tres casos en que la hipótesis de identificar cada parcela con un edificio no se cumple, situación que es necesario resolver del mejor modo posible a fin de cumplir con los postulados de la teoría que sustenta el método.

* La parcela tiene más de un edificio: si todos los edificios (separados entre ellos) son similares en tipo, edad, uso, etc., se lo considera uno. Si hay diferencias de uso, se toma el destinado a vivienda; y si el destino de todos es el mismo pero sus características varían, se toma uno en forma aleatoria. Si el edificio ha ido sufriendo modificaciones, se evalúa considerando la construcción original.

*Un edificio ocupa más de una parcela: en general, si el destino es escuela, estadios, grandes almacenes, grandes fábricas o talleres, que ocupan varias parcelas, a veces toda la cuadra, son desechados como muestra, ya que se apartan de la característica de ser edificación común, destinada a viviendas o pequeños negocios. En el caso de edificaciones comunes que ocupan dos o

a lo sumo tres parcelas, entonces se toma como una muestra.

*Parcela vacía: como en la metodología utilizada no interesa en realidad conocer el tamaño total del universo entonces estas parcelas son desestimadas ya que se toman sólo parcelas con edificios.

Los dos últimos casos pueden significar tener un menor número de muestras de las necesarias. Si se han rechazado 1 o 2 casos, se podría realizar una nueva muestra de las unidades evaluadas. Pero si son más, entonces se debe proceder a un nuevo proceso de selección aleatoria tomando ahora el universo original, menos las parcelas que han sido rechazadas o eliminadas como muestras.

3.2.1 Trabajo previo a la campaña de toma de datos

Una vez que se identificaron los lotes donde se tomarían los datos, se hizo un trabajo previo de análisis de los mismos, a fin de detectar si se presentaban alguno de los tres casos de no cumplimiento de la hipótesis que identifica la parcela con la vivienda. Para ello se hizo uso de las herramientas de internet (Google Map, Street View).

3.3 Toma de datos

Los datos fueron recolectados por medio de una encuesta muy simple de responder por los habitantes de la vivienda seleccionada. Como se anotó antes, la escala de vulnerabilidad adoptada responde a la de la escala de intensidad macrosísmica EMS98 (Grüntal, 1998). La misma define seis niveles de vulnerabilidad que van de A hasta F. Los parámetros que se consideran para la clasificación se relacionan con el material de la vivienda, su tipo de cubierta, la existencia o no de protección sismorresistente. Como la escala hace uso de variables difusas se recolectaron datos que permiten una ubicación más confiable en el rango posible para cada categoría (como estado de la construcción, edad de la construcción, existencia de ampliaciones o modificaciones de la misma). Se agregaron otros datos que permiten el uso del método del Índice de Vulnerabilidad.

Los datos fueron volcados a planillas de cálculo para proceder a su análisis.

3.4 Resultados

Al momento de redactar este informe se han levantado y analizados datos de las zonas señaladas con rojo en la Fig. 2. Tomándolas



Universidad Nacional de Jujuy
Facultad de Ingeniería



**XI JORNADAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DE FACULTADES DE INGENIERÍA DEL NOA**
San Salvador de Jujuy, 23 y 24 de Junio de 2016



separadamente, la ubicada al oeste tiene un 13% de edificios nivel A, 30% de nivel B, 36% de nivel C 9% de los niveles D y E, y un 3% de nivel E, por lo que el 79% de sus construcciones se ubica en la franja de alta a mediana vulnerabilidad. Por otro lado, la zona más al este, registra un 16% de edificios con nivel de vulnerabilidad A, 18% de nivel B, 48% de nivel C, 14% de clase D y 4% clase E.

Si se consideran ambas zonas, las diferencias se suavizan, y en ese caso, toda la zona tiene un 14% de edificios con vulnerabilidad A, 27% de nivel B, 39% de nivel C 11% de nivel D y 8% de nivel E y 1% de Nivel F.

Como se observa, hay una preponderancia de unidades con vulnerabilidad B y C.

En relación al método del Índice de Vulnerabilidad aplicado en las zonas “homogéneas”, a la vulnerabilidad clase B le correspondería un Índice de Vulnerabilidad medio de 0,74 (con variación entre 0,70 y 0,78) mientras que para el nivel de vulnerabilidad C, la correspondencia sería con un IV medio de 0,58 (con variación entre 0,54 y 0,62).

4 CONCLUSIONES

La zona heterogénea analizada presenta una preponderancia de edificaciones con nivel de vulnerabilidad C y B según la clasificación de la escala macrosísmica EMS98 y con IV entre 0,54 y 0,78). Restan por encuestar 44 unidades (muestras) pero por las características de las edificaciones analizadas en trabajo de gabinete, los valores esperados reportados podrán tener ligeras variaciones, pero sin cambiar estas conclusiones. Estos resultados, estadísticamente tienen un nivel de confianza del 90% con un intervalo de confianza del 15%.

Las zonas homogéneas relevadas también presentan amplias áreas con valores del IV mayores a 0,54.

Se concluye que la zona estudiada presenta niveles de vulnerabilidad media a alta, en especial la zona denominada heterogénea.

Faltan aún amplios sectores para estimar su vulnerabilidad, aún con este primer nivel de análisis; se espera continuar la tarea en la medida de las posibilidades.

REFERENCIAS.

Caro, R., Barbat, A. y Oller, S., *La evaluación del Riesgo Sísmico mediante el Índice de Vulnerabilidad*. Publicación de la Editorial de la Universidad Nacional de Salta, Salta, 2014.

Chakravarty, S., Sample size for Multinomial Population, Michigan Family Independence Agency, Michigan;

http://tx.liberal.ntu.edu.tw/~purplewoo/literature/!Methodology/!Distribution_SampleSize/Sample%20Size%20Determination%20for%20Multinomial%20Population.pdf. Última consulta: 7 de marzo de 2016.

Grüntal, G., European macroseismic scale 1998-EMS-98, Conseil de L'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Sismologie, Vol15, 1998.

Lagomarsino, S., Giovinazzi, S., Podestà, S. y Resemini, S., WP4-Vulnerability assesment of current buildings: I level methodology for the vulnerability assessment of current buildings and guidelines for the implementation. RISK-UE project: an advanced approach to earthquake risk escenarios with application to different European towns. Contract No. EVK4-CT-2000-0014. 28 pp.2002

Orosco, L., Galíndez, F., Haarala, M. y Viramonte, J., Vulnerabilidad sísmica (física) del sector norte de la Ciudad de Salta – Nivel preliminar, Memorias de las 23 Jornadas de Ingeniería Estructural, Buenos Aires, ISBN 978-897-23393-2-8, 2014.

Thompson, S., Sample size for estimating multinomial proportions, *The American Statistician* 41 (1), 42-46, 1987.

AGRADECIMIENTOS

A los alumnos de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería: Cintia Jaime, Ale Lamas, Ramiro Maidana, Fernando Pérez Villagra, Néstor Lesser, Leonardo Ruski y Walter Armoa por su colaboración en la realización de las encuestas para toma de datos.

Al Consejo de Investigaciones de la UCASAL por haber financiado parcialmente este trabajo.