

LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE MANIZALES

Innovador aporte para gestión integral de riesgos

Omar Darío Cardona Arboleda
Profesor Asociado IDEA, Universidad Nacional

En Colombia ya varias ciudades capitales de departamento y algunas poblaciones menores del Valle del Cauca han realizado sus estudios de microzonificación de la amenaza sísmica considerando los efectos locales de amplificación a causa de los suelos subyacentes de las zonas urbanas. Manizales, desde principios de los años 90, paulatinamente llevó a cabo estudios geológicos, geotécnicos y de amenaza sísmica regional, y desde principios de la presente década logró completar, la que podría considerarse, la microzonificación sísmica más refinada y detallada que se conoce en el país y posiblemente en Latino América.

Por tratarse de suelos de origen volcánico, la microzonificación sísmica de Manizales es bastante particular. Las características dinámicas no lineales de sus suelos se obtuvieron mediante pruebas in situ (cono sísmico, presiómetro cíclico, velocidad de onda de cortante down hole) y de comportamiento dinámico en el laboratorio (triaxial cíclico, columna resonante, velocidad de onda de cortante). Las funciones de transferencia para los depósitos de cenizas volcánicas se desarrollaron con base en un modelo no lineal que permitió obtener los Espectros de Amplitudes de Fourier (EAF), a nivel de la superficie del terreno, y con base en estos EAF se obtuvieron los espectros de peligro o amenaza uniforme para cualquier sitio de la ciudad, siguiendo la teoría clásica de la evaluación de la amenaza sísmica. En forma simultánea, se llevaron a cabo análisis de sensibilidad para las diversas variables implicadas, así como también simulaciones de Monte Carlo de procesos no estacionarios. Los efectos de la amplificación sísmica causados por el tipo de formas topográficas de la ciudad se evaluaron mediante análisis bidimensionales utilizando el sistema QUAD-4M y para el análisis de la respuesta en el tiempo de los depósitos de suelo y de las estructuras representativas se generaron terremotos artificiales utilizando la teoría sismológica del modelo Omega cuadrado siguiendo el procedimiento empírico de las funciones de Green.

De esta manera la Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres (OMPAD) de la Alcaldía de Manizales, con el apoyo técnico y científico de la Universidad de los Andes y el acompañamiento y supervisión de la Universidad Nacional de Colombia (UNC), sede Manizales, logró contar con los espectros de respuesta (aceleración, velocidad y desplazamiento) para cualquier sitio de la ciudad con fines de diseño sismorresistente. Esta información, que se puede obtener a nivel de predio mediante el programa Información Sísmica para Manizales (SISMan), como se ilustra en la Figura 1, no sólo es un insumo de especial importancia para la aplicación de las normas NSR-98 sino para los estudios de riesgo sísmico, el aseguramiento de edificaciones y la preparación para emergencias sísmicas futuras. Actualmente, la ciudad cuenta con una red de instrumentación sísmica de acelerómetros que no sólo sirve para mejorar los modelos analíticos utilizados sino para el desarrollo del Laboratorio de Instrumentación Sísmica Automática (LISA), cuya primera estación ya está en proceso de construcción en el marco del convenio que tiene la UNC con la UNAM de México y que servirá para la evaluación

inmediata de los posibles daños que se hayan presentado en la ciudad en caso de un terremoto fuerte.

Seguro colectivo frente a desastres

Resultado de contar con una microzonificación sísmica avanzada, Manizales ha podido realizar estudios de vulnerabilidad y riesgo sísmico, predio por predio, mediante los cuales ha podido estimar la Pérdida Máxima Probable (PML en inglés) de la ciudad, para diferentes períodos de retorno, y la pérdida anual esperada de cada edificación, o prima pura de riesgo. La Figura 2 ilustra resultados del programa SISMan+ Versión Riesgo, mediante el cual se visualizan los daños que habría en la ciudad en caso de un terremoto en alguna de las fuentes sísmicas cercanas a la ciudad. Esta información altamente especializada le ha permitido a la ciudad facilitar el desarrollo de una póliza colectiva de seguros frente a desastres, que permite cubrir hasta el valor catastral de las propiedades de quienes toman el seguro y de paso cubrir a los estratos de población más pobre.

Se trata de una alianza en la cual la administración municipal facilita –mediante sus procesos de sistematización de información– el cobro y recaudo de un seguro de daños a causa de desastres para cada predio de la ciudad de acuerdo con el valor catastral del inmueble. Este cobro –que es voluntario– se realiza utilizando la factura del impuesto predial unificado, que en el caso de Manizales, se elabora cada dos meses o anualmente con un descuento, si el pago del impuesto se hace anticipadamente. La factura ha incluido, en consecuencia, un formato que permite al contribuyente pagar su impuesto predial solamente o con una adición que corresponde a la prima del seguro y su respectivo impuesto al valor agregado.

El atractivo y beneficio social de este seguro colectivo consiste en que una vez un porcentaje o umbral definido del valor de los predios asegurables del área municipal –es decir, de aquellos que pagan el impuesto predial– paga la prima correspondiente, la protección del seguro se extiende a aquellos predios que por su valor y estrato social están exentos de dicho gravamen. Los predios exentos corresponden a los estratos de más bajos recursos, que son tanto propietarios como poseedores en condiciones legales de los niveles 1 y 2. La posibilidad de cubrir los estratos socio-económicos más pobres de la población y el promover, en general, la cultura del seguro en la ciudad son objetivos de especial interés de administración municipal, cuya responsabilidad es el recaudo de las primas. La compañía de seguros es el organismo que tiene la relación contractual directa con el asegurado y por lo tanto es quien soluciona y tramita las reclamaciones derivadas de la póliza. Este instrumento de protección financiera se perfeccionó con base en los estudios técnicos y científicos de amenaza y riesgo sísmico que la OMPAD ha promovido desde años atrás y sin los cuales no sería posible. Con base en estos estudios se diseñó el esquema que permite hoy cubrir todos los predios exentos con bases técnicas y financieras robustas.

En este programa, denominado "Manizales Predio Seguro", la prima anual que se estimó y se acordó con la compañía de seguros es del 2,2 por mil del valor del cada inmueble. El deducible es del 3% del valor de la pérdida en caso de terremoto y un mínimo tres salarios mínimos mensuales vigentes (SMMLV). En el caso de otros fenómenos naturales o eventos como huelga, motín, asonada, conmoción civil o popular, actos mal intencionados de

terceros o terrorismo el deducible se acordó en un 10% de la pérdida del inmueble afectado y un mínimo de dos SMMLV. La compañía de seguros (La Previsora) emitió una póliza matriz, cuyo tomador es el Municipio de Manizales, que reposa en la Alcaldía, en una notaría y en la sucursal de la compañía de seguros en la ciudad para revisión de los ciudadanos. Este instrumento tiene como beneficio el aseguramiento de todos los inmuebles exentos del impuesto predial cuando el 20% del valor asegurable del portafolio de los predios que están obligados a pagar el impuesto predial unificado participan en el programa con el pago de la prima de seguro que les corresponde. No obstante, en caso de que no se alcance el 20% de dicho valor, la compañía de seguros cubre parcialmente a los inmuebles exentos, que en este caso son los inmuebles urbanos y rurales destinados a vivienda cuyo avalúo no sea superior a 25 SMMLV. Se utiliza una tabla de rangos que va desde \$300.000 pesos, en el caso que sólo entre el 1% y el 5% participe, hasta \$10.000.000 de pesos cuando se alcanza el 20% del valor asegurable del portafolio. El nivel más bajo de participación de los predios que pagan el impuesto predial ha sido del 12,4%, lo que significa que todos los predios exentos, en ese caso, estarían cubiertos en un valor del orden de \$5.500.000 pesos. En estos rangos el deducible es el mismo pero el valor mínimo es de medio SMMLV.

Este innovador instrumento de protección financiera implantado en Manizales se ha venido perfeccionando con estudios cuidadosos de carácter técnico-científico y actuarial con el apoyo técnico de expertos en evaluación de riesgos y con el apoyo financiero de la administración municipal, del Departamento Nacional de Planeación y del Banco Mundial. Sin duda, este mecanismo de transferencia de riesgos constituye una experiencia exitosa y una buena práctica impulsada entre el Estado y el sector privado que podría replicarse en otras ciudades del país y en general en otros países en desarrollo propensos a desastres si se realizan los estudios de riesgo apropiados para su implementación.

Estimación automática de daños en caso de sismo

La OMPAD desarrolló un Plan de Emergencias para la ciudad en el cual la coordinación y realización de la evaluación de daños de las edificaciones después de un sismo es uno de sus múltiples objetivos. Para el efecto, con el apoyo de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) desarrolló una metodología para valorar el grado de seguridad que ofrece una edificación después de un terremoto de tal manera que se pueda definir rápidamente su habitabilidad y reparabilidad. La AIS diseñó un manual como el que se ilustra en la Figura 3 y una serie de formatos para registrar la información y calificar las edificaciones. Igualmente, se definieron una serie de procedimientos que se espera sean orientados por la Sociedad Caldense de Ingenieros y Arquitectos (SCIA) y otras agremiaciones en conjunto con la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y el Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la UNC, que tiene a cargo el diseño de los módulos de capacitación que se utilizarán en la formación de los ingenieros en la universidad como en la capacitación de los profesionales que en un futuro puedan prestar ese tipo de apoyo a la ciudad.

Ahora bien, Para llevar a cabo un buen proceso de evaluación de daños, es importante contar con evaluadores con amplia experiencia y experticia. Sin embargo, cuando ocurre un evento sísmico importante, no es posible que los expertos se encarguen de hacer la totalidad

de las evaluaciones. Por lo tanto, es común que personas no expertas que se vinculen a este proceso tiendan a sobreestimar o subestimar el daño existente, permitiendo la ocupación peligrosa o la demolición innecesaria de edificios. Teniendo en cuenta esta situación la AIS desarrolló para la OMPAD, con base en técnicas de inteligencia computacional, el sistema experto Evaluación de Daños en Edificios (EDE), del cual se ilustran algunas de sus interfases en la Figura 4. Este sistema, basado en lógica difusa y una red neuronal tipo Kohonen, facilita la toma de decisiones de personal no experto en la evaluación post-sísmica de daños, la habitabilidad y reparabilidad de los edificios en los cuales haya ambigüedad o duda en su nivel de seguridad.

Por otra parte, el IDEA de la UNC con el apoyo del Instituto de Ingeniería de la UNAM ha diseñado la primera estación automática del proyecto LISA con base en el Sistema Automático de Publicación de Shakemaps (SAPS), desarrollado en la UNAM, cuyo objetivo principal es generar los mapas de aceleración estimada y de los daños posiblemente ocurridos en la ciudad con base en el acelerograma registrado en tiempo real. Este sistema, una vez ocurrido un sismo y registrado en una de las estaciones del LISA genera los mapas y los publica en Internet en forma automática y sin intervención humana. La figura 5 ilustra un esquema general del sistema. Para garantizar tanto la comunicación como el registro del evento el sistema debe contar con dos acelerómetros comunicados a dos computadoras por diferentes tipos de conexión para que el sistema sea redundante.

Este sistema está conformado por dos secciones principales; en la sección A se llevan a cabo las tareas de adquisición de datos, detección y registro del evento sísmico (acelerógrafos 1 y 2) así como la generación de los mapas de intensidad estimada (PC1 y PC2). En la sección B se encuentra el sistema que permite la lógica de selección de eventos, la notificación a usuarios y la aplicación de publicación en Internet. En las computadoras PC1 y PC2 se encuentra corriendo el programa SEISLOG, que es un sistema que permite la adquisición de datos en tiempo real a través del puerto de la computadora. El sistema SEISLOG se configura para que al declararse un evento por algoritmo STA/LTA, se produzca un archivo en formato SEISAN el cual al ser detectado por el programa MapasTR (desarrollado en la UNAM) sea evaluado y se generen los mapas y los resultados. El programa MapasTR hace una llamada a la aplicación SAPS-Carrier, que se encarga de transportar los archivos al servidor de base de datos para su almacenamiento histórico y finalmente al servidor Web, por e-mail, busca personas o celular para su difusión. De esta forma la OMPAD el Sistema Municipal de Prevención y Atención de Desastres tendrá en cuestión de minutos la intensidad del sismo en las diferentes partes de la ciudad y los posibles daños que se deben haber presentado en las edificaciones, lo que le permitirá activar los procedimientos de respuesta y la movilización inmediata para la atención de la emergencia.

En resumen, Manizales con el desarrollo de su microzonificación sísmica ha logrado importantes productos que sin ella no podrían haberse realizado. Esto demuestra que invertir en investigación tiene importantes réditos económicos, sociales y académicos. Hoy la ciudad es un ejemplo internacional de gestión integral de riesgo y demuestra estar a la vanguardia en temas en los cuales muy pocas ciudades del mundo tienen logros similares.

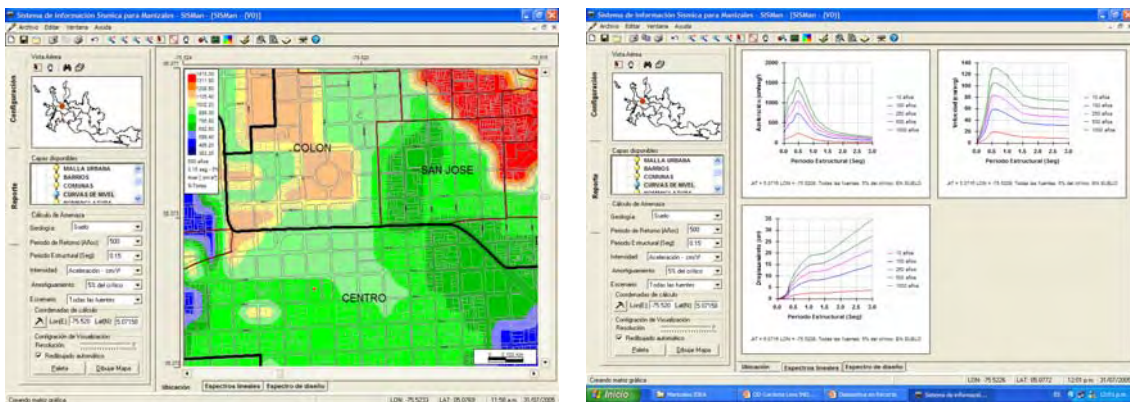


Figura 1. El programa SISMan permite conocer las exigencias de diseño sísmico

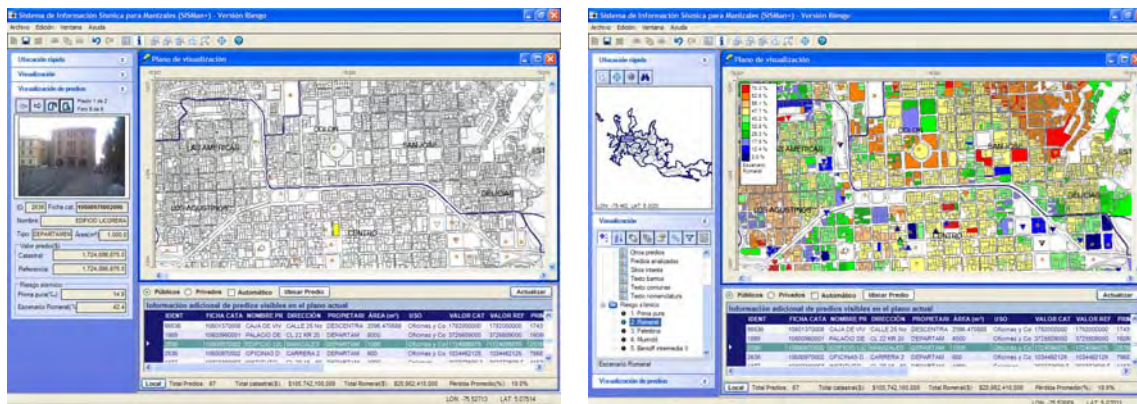


Figura 2. El programa SISMan+ Ver. Riesgo permite visualizar las pérdidas potenciales

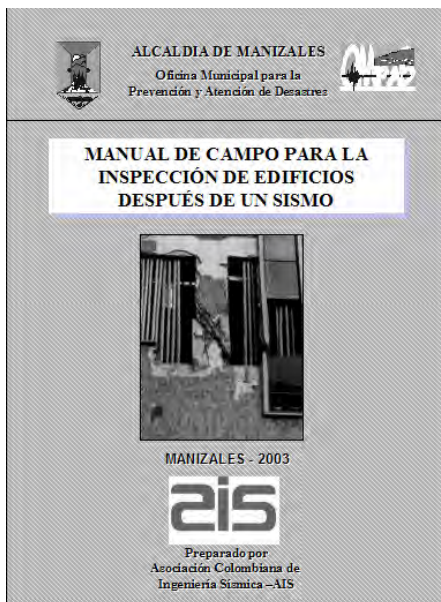


Figura 3. Manual para la evaluación de daños y habitabilidad después de un terremoto



Figura 4. El programa EDE facilita la toma de decisiones en casos difíciles de evaluar

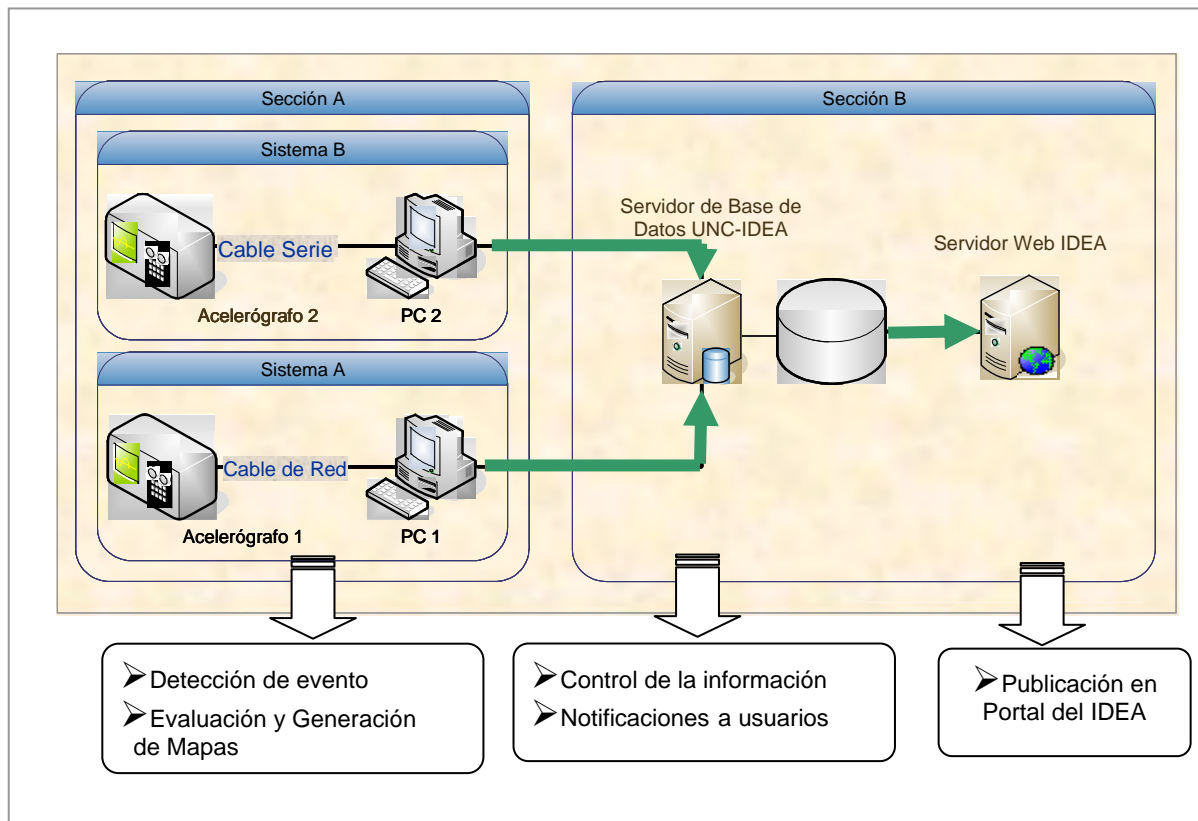


Figura 5. Esquema general de la estación automática LISA para evaluación de daños

Bibliografía

- Cardona, O.D. Ordaz, M.G., Arámbula, S., Yamín, L.E., Mahul, O. and Ghesquiere, F. (2006) “Detailed earthquake loss estimation model for comprehensive risk management”, Proceedings of *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, European Association of Earthquake Engineering EAEE, Ginebra.
- Carreño, M.L., O. D. Cardona & A. H. Barbat, (2006). “Neuro-Fuzzy Assessment of Building Damage and Safety After an Earthquake”, in *Intelligent Computational Paradigms in Earthquake Engineering*, Editors N.D. Lagaros & Y. Tsompanakis, Idea Group Inc., Hershey PA.
- ERN-Manizales, (2005). Diseño de Esquemas de Transferencia de Riesgo para la Protección Financiera de Edificaciones Públicas y Privadas en Manizales en el Caso de Desastres por Eventos Naturales, Informes para el DNP, ACCI y el Banco Mundial, Bogotá.
- Havskov, J., Seislog for Windows. *A seismic data acquisition system for Windows*. Department of Earth Science, University of Bergen, Noruega.
- Ordaz, M.G. (2006) *Sistema automático de publicación de SHAKEMAPS* Coordinación de Instrumentación Sísmica, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
- Universidad de los Andes, (2002) *Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Manizales*, Alcaldía de Manizales, Colombia.
- Yamín, L.E., Cardona, O.D., Gallego, M., Phillips, C., Arámbula, S. (2004). “Recent advances in seismic microzonation studies in Colombia: The Manizales city case”, in Proceedings of *13th World Conference on Earthquake Engineering*, paper 2840, Vancouver, B.C.