

ARMENIA: NUEVA TRAGEDIA, VIEJAS LECCIONES

JOSEF FARBIARZ FARBIARZ
JOSUÉ CARRILLO CARRILLO
BEATRIZ ESTRADA ROLDÁN

*Centro de Procesamiento de Información Sismológica
Facultad de Minas
Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín*

RESUMEN

El 25 de enero de 1999, el reloj de péndulo de la oficina del Gobernador del Quindío se detuvo a la 1:19 p.m. Durante los próximos 30 segundos morirían más de 1 000 personas bajo los escombros de las edificaciones que no resistieron el movimiento que les impartió la tierra, sacudida por las ondas de un terremoto que no debía haber causado tanta devastación.

El sismo, cuya magnitud se calculó en 6,2, en la escala Richter, provino de un foco poco profundo en las cercanías del Municipio de Córdoba, a unos 40km de Armenia. La poca profundidad y la cercanía del foco se evidenciaron en la alta frecuencia predominante en los sismogramas y a la intensidad de la aceleración vertical.

Los daños ecológicos fueron relativamente pocos; los daños estructurales se concentraron en el sur y el occidente de Armenia y en las poblaciones vecinas de Córdoba, Pijao, Calarcá, La Tebaida, y Quimbaya. La mayor parte de las estructuras colapsadas o gravemente averiadas no habían sido provistas con los requisitos sísmicos mínimos de las normas vigentes en la época de su construcción, o, simplemente, carecían de cálculos de ingeniería estructural. En muchos casos, estos problemas se agravaron debido a mala calidad de construcción y de materiales.

Los daños se clasificaron, en su mayoría, en una o varias de las siguientes categorías: Insuficiente acero de confinamiento en columnas, insuficiente acero longitudinal, discontinuidad del refuerzo, columna corta, falla por tracción diagonal en mampostería sin refuerzo, golpeo de edificios.

La mayoría de las estructuras diseñadas bajo el primer código Colombiano de construcciones sísmo resistentes. CCCSR-84, Decreto 1400 de 1984, o bajo la norma vigente, NSR-98, decreto 33 de 1998, se comportaron adecuadamente y sufrieron, principalmente, daños no estructurales.

PALABRAS CLAVE

Sismo, terremoto, daño estructural, colapso, falla, epicentro, foco, falla de cortante, columna corta

ABSTRACT

On January 25th, 1999, the grandfather clock at the governor's office of the Quindío Province, in Colombia, stopped clicking at precisely 13:19 hours. During the next 30 seconds more than one thousand people died under the debris of the buildings that did not resist the movement of the earth, shaken by the waves of an earthquake which shouldn't have caused such devastation.

The tremor, with a calculated 6,2 magnitude, on the Richter scale, originated at a shallow depth in the vicinity of the Municipality of Córdoba, some 40km from the city of Armenia, capital of the Province of Quindío. The proximity of the hypocenter, both in range and in depth, was evident in the high frequency predominant on the recorded seismograms and on the intensity of the vertical acceleration.

Ecological damage was relatively small; however, structural damage was vast and was concentrated on south and west Armenia, and on the surrounding towns of Córdoba, Pijao, Calarcá, La Tebaida, and Quimbaya.

Most of the collapsed or seriously damaged structures were not provided with the seismic resistant requirements stated by the codes or, simply, were not structurally designed at all. In many cases, this was compounded with the lack of quality of both construction techniques and materials.

Damage can be classified among one, or several, of the following categories: Lack of confining reinforcement, lack of sufficient longitudinal reinforcement, discontinuity of reinforcement, "trapped column" effect, diagonal tension failure in unreinforced masonry, clapping of adjoining structures.

Most of the structures which were built according to the first Colombian construction code, CCCSR-84, Decree 1400 of 1984 (in Colombia, construction codes are ruled by national law through a congressional decree), or according to the current code, NSR-98, Decree 33 of 1998, behaved adequately, presenting, mainly, non-structural damage.

KEYWORDS

Earthquake, collapse, structural damage, seismogram, fault, epicenter, hypocenter, trapped column, shear failure

1. LA TRAGEDIA

El 25 de enero de 1999, el reloj de péndulo de la oficina del Gobernador del Quindío se detuvo a la 1:19 p.m. Durante los próximos 30 segundos morirían más de 1000 personas bajo los escombros de las edificaciones que no resistieron el movimiento que les impartió la tierra, sacudida por las ondas de un terremoto que no debía haber causado tanta devastación.

La dimensión de la tragedia es inconmensurable, no sólo por el alto número de vidas abruptamente cortadas, sino porque este desastre natural dejó a su paso miles de heridos, decenas de miles de nuevos desempleados, cientos de miles de personas sin vivienda, un grave enredo jurídico y un inmenso caos administrativo.

En un medio en el que la atención de los desastres es un tópico relativamente reciente, un evento de tan vastas dimensiones genera una larga cadena de

improvisaciones y falsos comienzos que acentúan el problema hasta tal punto que el manejo de la emergencia tiende a tornarse en un desastre adicional. Las necesidades superan ampliamente todos los recursos públicos y desbordan la infraestructura estatal y aún la privada. En estas circunstancias surge lo peor y lo mejor de la gente. Los saqueos y el vandalismo de los primeros días posteriores al sismo son una cruda muestra de lo primero; la colaboración desinteresada de miles de personas de todos los estratos económicos y sociales de la región, el país, e inclusive del resto del planeta, es una consoladora muestra de lo segundo.

Hay mucho por hacer, es cierto. Entre muchas otras cosas está, por ejemplo, la obligación de los ingenieros de explicar por qué las construcciones que debían protegernos de la intemperie y otros peligros, se convierten a veces en trampas mortales.

2. LA GEOLOGÍA

El departamento del Quindío se halla localizado en el flanco occidental de la cordillera Central y está conformado por dos unidades fisiográficas principales, una cordillerana al oriente y otra, en la parte central y noroccidental, de formas onduladas con inclinación suave hacia el valle del Río La Vieja. Geológicamente, en el departamento predominan rocas del Complejo Quebradagrande y el denominado "Glacis del Quindío".

El Complejo Quebradagrande se caracteriza por intercalaciones de rocas volcánicas y sedimentarias: la unidad volcánica se presenta en varios cuerpos con contactos fallados, tiene composición primordialmente basáltica con cantidades menores de andesitas y piroclastitas. La unidad sedimentaria está constituida por una secuencia épíclástica de estratificación fina con grauvacas, lutitas, limolitas y algunos niveles conglomeráticos.

El Glacis del Quindío, en donde se encuentran localizados casi todos los municipios del departamento, se caracteriza por un relieve suave, ligeramente inclinado hacia el sur-oeste, conformado por cerros redondeados de poca altura bordeados por hondonadas en "U" de poca profundidad. Este glacis se formó por erupciones volcánicas que ocasionaron el deshielo y

la formación de flujos de lodo (lahares) que descendieron por los ríos Quindío y Consota, por avenidas torrenciales y depósitos piroclásticos.

En el área que cubre el Glacis del Quindío el sistema de fallas geológicas pierde su expresión morfológica, aunque, según McCOURT et al, (1984), es posible distinguir algunos alineamientos fotogeológicos. CLINE et al (1981) describen desplazamientos cuaternarios que han afectado flujos de lodos del Glacis, y en el área de Montenegro alcanzan hundimientos hasta de 64m hacia el este. Con base en esta cifra los citados autores calcularon tasas de fallamiento del orden de 0,2 a 0,6 mm/año. Estas fallas son inversas, de ángulo alto, y han tenido movimientos de rumbo; sobre su zona de influencia están localizadas las poblaciones de Génova, Pijao, Córdoba, Buenavista y Salento.

Otro sistema tiene dirección predominante N-O y sus fallas han sido denominadas "tipo Salento"; estas fallas han producido fragmentación en la cordillera Central en forma de bloques levantados y hundidos que en algunos sectores presentan desplazamientos importantes hacia el N-O. HALL & WOOD (1985) reconocieron este sistema de fallas y suponen que es el causante del desplazamiento de los focos volcánicos en la cordillera Central de Colombia. Este sistema, por lo general, se encuentra enmascarado por la mayor actividad del sistema Romeral; la expresión más clara es la denominada falla Salento que se prolonga hacia el oeste en la falla Pereira y que muestra movimientos durante el Cuaternario.

Suprayacente a las unidades mencionadas, en casi todo el departamento, se encuentra un depósito hasta de 30 m de espesor, constituido por cenizas volcánicas dispuestas en capas de espesor variable, generalmente inferior a 50 centímetros, que siguen el relieve del terreno original. La meteorización de estas cenizas da origen a suelos bien drenados y de gran aptitud agrícola; en su estado natural, contrario a la creencia generalizada, estos suelos tienen unas propiedades ingenieriles bastante buenas; la anterior afirmación puede colegirse de la abundancia de taludes verticales, de más de 7 metros de altura, que después de 50 años de construídos aún permanecen estables; sin embargo, en Armenia y en el Quindío, más por ignorancia y por

falta de control estatal que por conocimiento de las características del suelo, se ha extremado la confianza en su comportamiento y por eso, entre otras razones, son frecuentes las construcciones en zonas próximas a taludes y cañadas, sin que se respete un retiro mínimo; existen edificios construídos al borde de barrancos. No hay normas ni reglamentación alguna que definan retiros de las edificaciones del borde del talud.

El relieve de la parte no cordillerana en el Quindío, con sus montículos pequeños y hondonadas, ha generado que la adecuación del terreno para su urbanización consista básicamente en explanar los cerros y llenar las hondonadas y cañadas; por esta razón, en todo el Quindío, muy recientemente poblado, abundan las construcciones sobre llenos heterogéneos junto a otras hechas sobre terreno natural. Prácticamente todos los llenos se han hecho con tierra echada, escombros y basura, con poca o ninguna técnica; estas razones pueden explicar el por qué en una misma urbanización unas estructuras hayan sufrido daños graves durante el sismo del pasado 25 de Enero, mientras que otras no resultaron afectadas.

3. EL SISMO

3.1. LOCALIZACIÓN

La localización preliminar que realizó el INGEOMINAS a través de su Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) del sismo del 25 de enero, lo ubicó en cercanías del Municipio de Obando en el departamento del Valle a una profundidad de 100 km. Sin embargo, esta localización no estaba de acuerdo con los daños que el evento había generado en muchos municipios, principalmente en el departamento del Quindío.

Posteriormente, la RSNC expidió varios informes con localizaciones revisadas. La localización más reciente ubica el sismo a 4.40°N y 75.71°O, en cercanías del Municipio de Córdoba, en el departamento del Quindío, con una profundidad entre 30 y 50 km. En la figura 1 se presenta el esquema presentado por la RSNC de la localización del epicentro del evento.

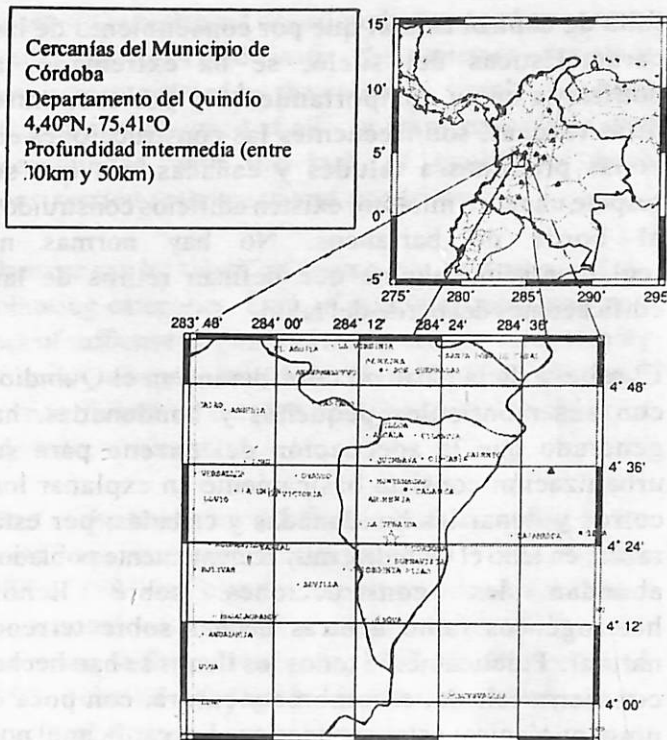
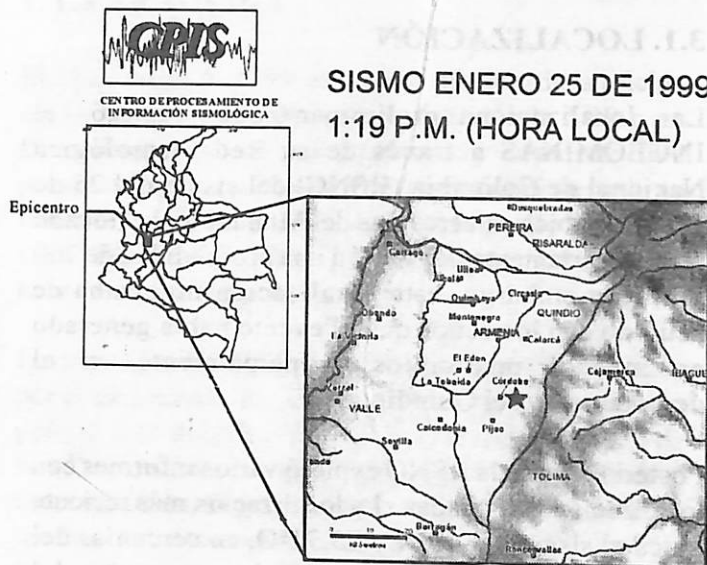


Figura 1 Localización de la RSNC



LOCALIZACION: CERCANIAS DEL MUNICIPIO DE CORDOBA,
DEPARTAMENTO DEL QUINDIO (4.38°N, 75.64°W)
PROFUNDIDAD: 35 KM

Figura 2 Localización de acuerdo con el OSSO

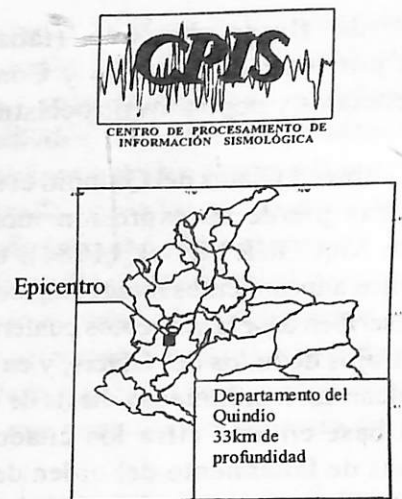


Figura 3 Localización de acuerdo con el USGS

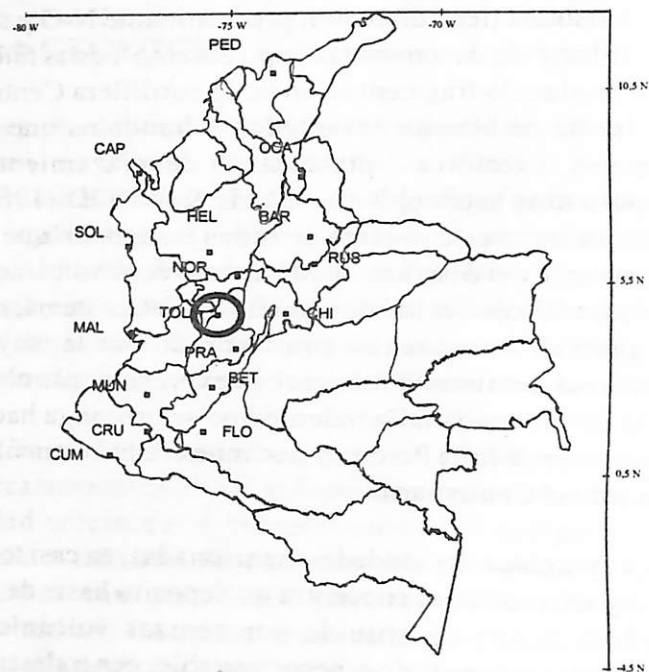


Figura 4 Localización de las estaciones sismológicas de la RSNC.

El Observatorio Sismológico del Suroccidente (OSSO), que opera una red propia al suroccidente del país y posee su base en la ciudad de Cali, también registro el evento del 25 de enero de 1999. La localización del sismo según el OSSO se presenta en la figura 2.

Algunas redes internacionales como la red global del United State Geological Survey (USGS), también registraron y ubicaron el evento. La figura 3 muestra la ubicación obtenida por USGS.

3.2. SISMOGRAMAS

En la figura 4 se presenta el mapa de Colombia con la localización de las estaciones sismológicas de la RSNC. En esta figura se marca con un círculo la estación TOL, la más cercana al epicentro, localizada en el Departamento del Tolima, a muy pocos kilómetros de los límites con el Quindío. La estación se encuentra a unos 50km de la zona epicentral.

En la figura 5 se presentan los sismogramas obtenidos por las diferentes estaciones de la RSNC durante el sismo. El primero de los sismogramas mostrados corresponde precisamente a la estación TOL. La escala sobrepuesta al sismograma corresponde a la escala de tiempo, en minutos, mostrada al pie de la figura. Puede observarse que la total duración del registro es de aproximadamente dos minutos. Sin embargo, el movimiento más fuerte dura aproximadamente 20 segundos, seguido de otros 20 segundos de intensidad menor, para amortiguarse notoriamente durante el resto del registro.

Nótese la significativa diferencia entre este sismograma y los demás. El movimiento fuerte ocurre inmediatamente, desde el comienzo del registro. Las ondas P y las ondas S llegan casi simultáneamente.

Las características de este registro son consistentes con un sismo cercano y superficial. El movimiento del suelo se siente de manera muy diferente a la de un sismo lejano y profundo, como la mayoría de los sismos que normalmente se han sentido en los centros urbanos del país.

En los demás registros, las ondas P y S llegan a intervalos de tiempo mucho mayores y el movimiento fuerte ocurre más distribuido en el tiempo.

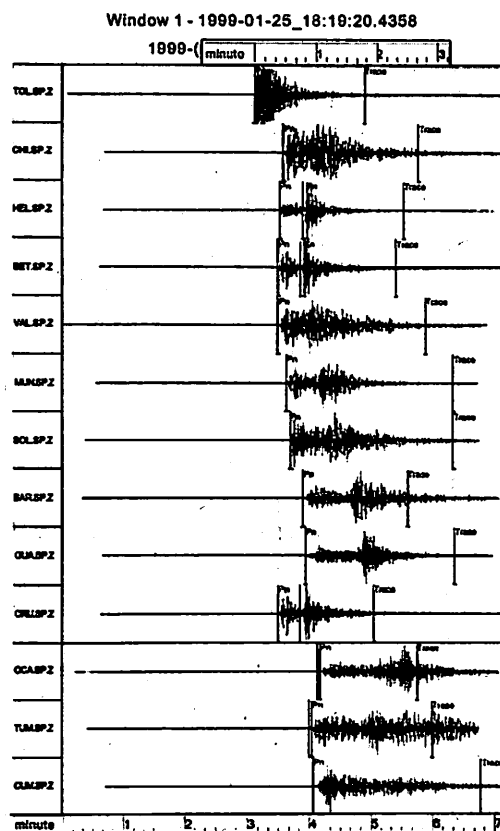


Figura 5 Sismogramas del sismo del 25 de enero de 1999 (RSNC)

3.3. RÉPLICAS

Después del evento principal se han presentado numerosas réplicas en la zona. El Observatorio Sismológico del Suroccidente (OSSO) había registrado, hasta el 31 de enero, 380 réplicas en la región. La RSNC registró 58 réplicas hasta la misma fecha, de las cuales las 12 primeras se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 Sismo precursor y primeras 12 réplicas.

No.	HORA (LOCAL)	MAGNITUD RICHTER
1	1:51 PM	3.0
2	2:01 PM	2.3
3	2:07 PM	4.4
4	2:59 PM	2.0
5	3:29 PM	3.0
6	4:09 PM	1.5
7	4:21 PM	2.7
8	4:23 PM	4.1
9	4:47 PM	2.5
10	5:04 PM	2.4
11	5:12 PM	3.0
12	5:40 PM	5.8

Las réplicas son consecuencia de un proceso normal de acomodamiento de la región fallada; los sismos posteriores al principal tienen generalmente magnitudes decrecientes, cada vez más espaciadas en el tiempo, hasta llegar a un estado de equilibrio en la zona. Sin embargo, las réplicas causan siempre pánico entre la población sensibilizada por los efectos del sismo precursor y pueden causar daños serios en adición a los iniciales. De hecho, como se ve en la Tabla 1, la réplica 12 correspondió a un sismo de magnitud 5,8 en la escala Richter y produjo el colapso de varias estructuras que habían sido averiadas en el sismo inicial, como el edificio de la Asamblea Departamental y el Edificio de la Grancolombiana.

El INGEOMINAS instaló 10 estaciones sismológicas portátiles en los municipios de Cartago, Salento, Montenegro, Calarcá, Córdoba, Génova, Caicedonia, La Tebaida, La Mina (Pijao) y Pijao, con el fin de determinar con mayor exactitud la actividad sísmica en la región.

En la figura 6* se presenta el mapa que la RSNC ha elaborado de las fallas activas de la región epicentral superpuestas a los epicentros del sismo principal y algunas de sus réplicas.

Por las características del evento principal y la localización de las réplicas el evento parece estar relacionado con el sistema de falla Romeral.

Sin embargo, la localización de los sismos depende de la configuración de la red instrumental en que se basan los cálculos. Por esta razón, las localizaciones de redes diferentes dan resultados diferentes.

En el mapa de la figura 7* se presenta el mapa de localización del sismo principal y sus réplicas de acuerdo con la red del OSSO.

En las figuras 6 y 7 se puede apreciar una variación notable en la localización del evento principal y sus réplicas. Mientras que las réplicas localizadas por la RSNC se ubican en su mayoría al sur-este y este del municipio de Córdoba, las del OSSO se ubican al norte y este de la misma localidad.

* Ver páginas 15 y 16

3.4. MECANISMO FOCAL

En la figura 8* se presenta el mecanismo focal obtenido en el CPIS con base en la información suministrada en la RSNC, mientras que en la figura 9* se presenta el mecanismo focal obtenido en observatorios internacionales.

Este mecanismo corresponde a una falla de rumbo con desplazamiento lateral izquierdo.

3.5. MAGNITUD

La magnitud reportada por la RSNC corresponde a 6,0 en la escala Richter, es decir magnitud local o magnitud M_L , mientras que el OSSO y la USGS reportaron magnitudes m_b de 5,9 y 5,8, respectivamente.

De acuerdo con Sarria (1995), la relación entre magnitudes M_L y m_b se puede calcular mediante la expresión

$$m_b = 1,7 + 0,8M_L - 0,01M_L^2 \quad (2.1)$$

Con base en esta ecuación, la magnitud M_L reportada por la RSNC equivale a una magnitud m_b de 6,14.

3.6. INTENSIDAD

La intensidad del sismo, medida por medio de la aceleración del suelo registrada en cada sitio, pudo determinarse en los lugares donde se han instalado acelerógrafos. En la ciudad de Armenia hay un acelerógrafo en los predios de la Universidad del Quindío. Por otra parte, además de la RSNC, INGEOMINAS opera una Red Nacional de Acelerógrafos.

En Pereira y en Medellín existen redes locales de acelerógrafos instalados como parte del proyecto de microzonificación de la ciudad.

De acuerdo con los reportes de INGEOMINAS, el acelerógrafo de la Universidad del Quindío registró aceleraciones pico horizontales de 579gal ($1\text{gal}=1\text{cm/s}^2$) y verticales de 460 gal, que corresponden a 59% y 0,47% de la aceleración de la gravedad, respectivamente.

En Pereira, los acelerógrafos registraron cerca de 78,5gal (8% de g) en roca. Esta intensidad se amplificó más de cuatro veces en ciertos llenos de mala calidad, para un total de cerca de 365gal ($\approx 40\%$ de g).

Debido a la superficialidad del sismo, el movimiento se atenuó significativamente con la distancia, de manera que los acelerógrafos en Medellín registraron intensidades inferiores a los 10gal.

4. LOS DAÑOS

4.1. DISTRIBUCIÓN

La mayoría de los daños ocasionados por el terremoto se concentraron en la ciudad de Armenia y sus alrededores, en una región que incluye a los Municipios de Calarcá, La Tebaida, Quimbaya, Córdoba y Pijao. La construcción en estos últimos municipios consiste en su gran mayoría en edificaciones de uno y dos pisos, gran parte hecha en bahareque y el resto, principalmente en mampostería no reforzada.

El mayor número de víctimas se produjo en Armenia. Esta ciudad puede dividirse en dos zonas claramente delimitadas, la zona norte y la zona sur.

La norte, en donde los daños materiales fueron relativamente menores, es una zona residencial de construcción relativamente reciente; las urbanizaciones más viejas no sobrepasan los 35 años y están formadas por casas de uno y dos pisos. Dada la capacidad económica de la mayoría de sus moradores, la construcción se realizó con alguna técnica, se tuvieron diseños arquitectónicos y los materiales de construcción son, en general, de buena calidad. Las urbanizaciones más nuevas, prácticamente todas posteriores a la entrada en vigencia de los códigos de diseño sismo resistente, están formadas en su mayoría por edificios de más de cinco pisos.

La otra parte la constituyen el centro y el sur de la ciudad; aquí la destrucción física y las pérdidas en vidas humanas fueron mayúsculas. En el centro abundan los edificios de mediana altura; los más viejos, anteriores al año 1964, diseñados con el criterio de las "tensiones admisibles", son relativamente pocos; de ellos colapsaron dos

(localizados en la carrera 15 con calle 21 y en la carrera 18 con calle 24) mientras que el edificio del Banco de Colombia sufrió articulación de las columnas con significativa deformación permanente que ha obligado su demolición; los demás no sufrieron daños de consideración.

Los edificios construidos entre 1964 y 1984, época en que se empleó como criterio de diseño la "carga última", fueron los más afectados; muchos colapsaron, otros quedaron seriamente afectados. La mayoría de los edificios construidos con posterioridad a la entrada en vigencia del Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, Decreto 1400 de 1984, (CCCSR-84), no presentan daños estructurales de consideración, salvo en los muros divisorios y acabados.

Las edificaciones nuevas, construidas bajo la vigencia de la Norma Colombiana de Construcciones Sismo Resistentes, NSR-98, Ley 400 de 1997, Decreto 33 de 1998 no sufrieron daños de consideración.

Las casas viejas (de más de 40 años) localizadas en el centro están construidas en bahareque, muchas de las cuales han sido remodeladas con una fachada de mampostería. Por lo general, a éstas se les cayó la fachada y el alero; es notorio que casi todas las adiciones hechas a edificaciones se derrumbaron.

En el sector sur, predominan las edificaciones de uno o dos pisos; aquí abundan las casas de bahareque con y sin reformas, las urbanizaciones construidas por el Instituto de Crédito Territorial, las viviendas de programas de autoconstrucción, las casas de interés social y los cuasitugurios; últimamente se ha iniciado la construcción de edificios multifamiliares de varios pisos. En todo este sector, salvo en los edificios de construcción reciente, los daños fueron de grandes proporciones y abundaron las pérdidas en vidas humanas.

Como se mencionó en el numeral 1, la presencia de llenos de mala calidad representa un factor de amplificación de las ondas, influyendo así en la distribución de los daños.

La topografía local es otra fuente de concentración de daños. Escarpes, cimas de cerros, y otros accidentes topográficos pueden amplificar las ondas sísmicas. La

corta longitud de las ondas provenientes de focos cercanos se presta para que la interacción con características topográficas de dimensiones relativamente pequeñas sea mayor que en casos de sismos de fuentes lejanas o profundas.

4.2. CAUSAS PROBABLES

Inmediatamente se conoció la noticia del sismo, el CPIS, con la aprobación y el apoyo de la Decanatura de la Facultad de Minas, organizó una comisión de apoyo para viajar a la zona a ayudar en las operaciones de atención técnica del desastre. El trabajo consistió en evaluaciones estructurales de emergencia para determinar el grado de daños de las numerosas estructuras afectadas. Esta ardua labor se realizó bajo la coordinación de la Sociedad de Ingenieros del Quindío, quienes contaron con la colaboración de muchos otros ingenieros de todas partes del país, incluyendo comisiones de las sedes de Manizales y Santafé de Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia, de la Asociación de Ingenieros Estructurales de Antioquia, de la Universidad del Cauca, de la Universidad de los Andes, entre otras muchas instituciones e ingenieros particulares que asistieron a ayudar *motu proprio*.

La información recopilada era consignada en formularios diseñados *ex profeso* para estos casos, y está siendo sistematizada por la Sociedad de Ingenieros del Quindío. De allí saldrá eventualmente un mapa de isosistas que sirva como complemento en la evaluación detallada de la distribución de los daños y en los esfuerzos para microzonificar sísmicamente la ciudad.

Durante las evaluaciones, se recogió valiosa información con respecto a la naturaleza de los daños encontrados que permite sugerir acerca de las causas probables más comunes de los colapsos, totales y parciales, y acerca de los daños en general.

Pese a que la concentración de los daños puede explicarse por las características de los suelos y de la topografía local, las evidencias muestran que la mayoría de las edificaciones severamente afectadas se caracterizaban por su edad (anteriores a la vigencia de códigos nacionales de construcción), por

tener defectos de configuración arquitectónica o estructural, defectos constructivos, mala calidad en materiales y construcción, o por carecer de diseño estructural.

En general, las causas probables de la mayoría de los daños registrados pueden clasificarse en unos pocos grupos característicos.

En general, las causas probables de la mayoría de los daños registrados pueden clasificarse en unos pocos grupos característicos.

4.2.1 Mampostería simple

La figura 10* muestra el colapso casi total del Barrio Brasilia, situado al sur-occidente de la ciudad. Este sector fue construido por el Instituto de Crédito Territorial y consistía en casas de dos pisos, construidas con mampostería no reforzada. El barrio estaba localizado sobre una pendiente en terreno natural, al lado de una cañada. Probablemente este factor topográfico contribuyó a la amplificación del movimiento del suelo. Sin embargo, residencias similares en la parte superior de la colina, sufrieron daños menores y no colapsaron.

Las casas que colapsaron tenían sus fachadas con orientación paralela a la pendiente. Estas fachadas consistían en la puerta del garaje, la puerta principal y la ventana de la sala en el primer piso, y un balcón y una ventana en el segundo piso. En la parte posterior, el primer piso tenía la ventana al patio y la ventana de la cocina. En dirección perpendicular, se encontraban los muros medianeros entre casas. Esta configuración hacía que las casas tuvieran una rigidez muy reducida en el sentido de la fachada. Además, por encontrarse en pendiente, la losa de una casa estaba localizada unos 40cm más arriba que la casa contigua ladra abajo.

Estas características se prestan para que se presentase un efecto de domino, en el cual la combinación de la aceleración horizontal y vertical rompieran la integridad de los muros no reforzados y la baja rigidez en el sentido de la pendiente permitiera un colapso progresivo a lo largo de toda la pendiente. En efecto,

* Ver páginas 15 y 16

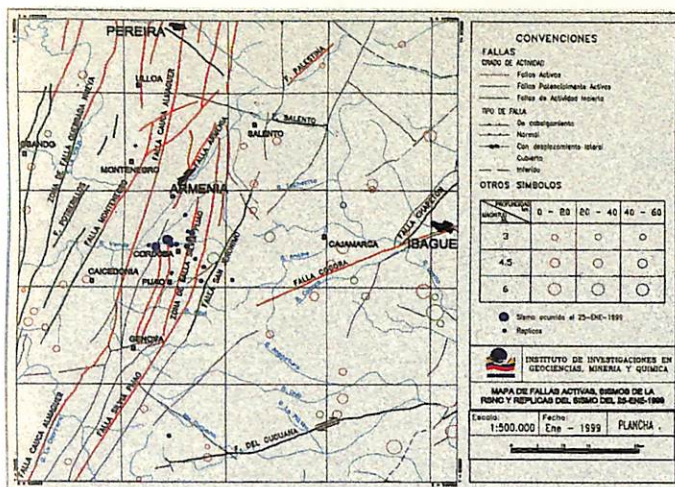


Figura 6 Mapa de fallas activas y réplicas del sismo del 25 de enero de 1999

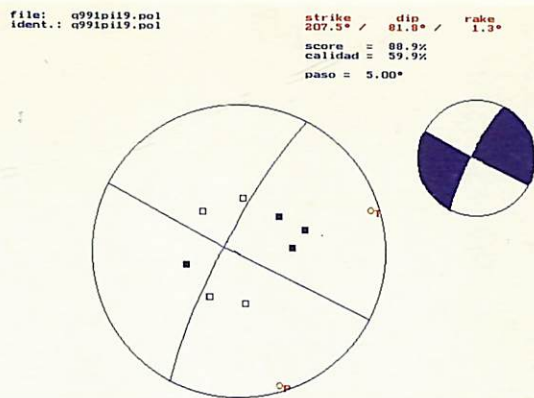


Figura 8. Mecanismo focal elaborado en el CPIS con base en la información suministrada por la RSNC

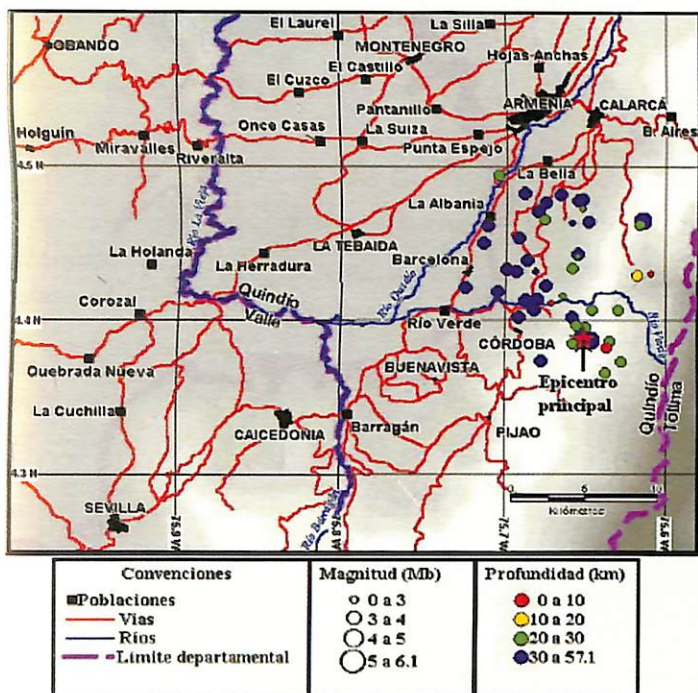


Figura 7 Mapa de localización del evento principal y sus réplicas según el OSSO.

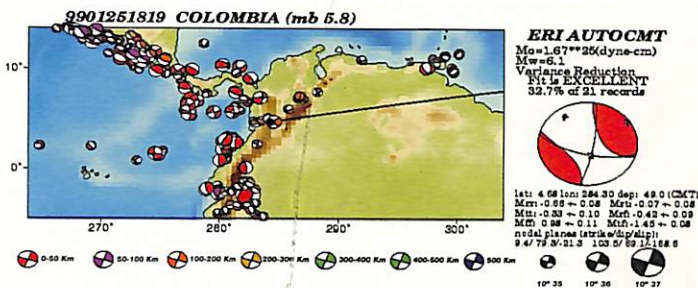


Figura 9 Mecanismo focal del sismo elaborado por agencias internacionales



Figura 10 Barrio Brasilia



Figura 11 Insuficiente confinamiento



Figura 13 Colapso parcial por cambio de rigidez



Figura 12 Efecto de columna corta en edificio de un colegio en Armenia que colapsó parcialmente



Figura 14 Colapso total del edificio de la Asamblea Departamental del Quindío

puede notarse en la fotografía (enmarcación con círculo) que la presencia de una construcción aporticada con cierto refuerzo estructural evitó el colapso de varias residencias.

El pobre comportamiento de la mampostería no reforzada se ha reportado continuamente en sismos alrededor de todo el mundo (Anchorage-1964, Turquía-1972, Northridge-1994, Murindó-1992, Pereira-1995, Kobe-1995, etc) y está específicamente prohibida la construcción con este tipo de estructuración en la NSR-98.

4.2.2 Confinamiento insuficiente

La mayoría de los daños estructurales en pórticos anteriores a la vigencia del CCCSR-84 incluían la plastificación de los extremos de las columnas debido a una combinación de insuficiencia en la cantidad y la calidad del acero longitudinal y a una obvia insuficiencia en el acero de confinamiento. En la figura 11* se aprecia el excesivo espaciamiento y el reducido diámetro de los estribos en la zona de confinamiento. Nótese que el acero longitudinal es liso.

4.2.3 Columna corta

Un problema de construcción muy común en todo el país es el *acortamiento efectivo* de columnas. Este fenómeno ocurre cuando a una columna diseñada con altura completa entre losas, se le restringe el movimiento mediante su arriostramiento parcial con muros adosados a sus lados. Esta reducción de la longitud libre de la columna resulta en un incremento en su rigidez y, consecuentemente, un aumento de las tensiones de cortante que pueden superar fácilmente la resistencia de diseño, produciéndose una falla por tracción diagonal como la que se observa en la figura 12*. Esta edificación corresponde al edificio de un colegio que colapsó parcialmente, cobrando la vida de un profesor.

4.2.4 Irregularidades en la configuración estructural

El edificio que se muestra en la figura 13* colapsó parcialmente. Su estructuración incluía vigas en un solo sentido, característica prohibida desde la vigencia del CCCSR-84.

El primer piso tenía un vestíbulo de doble altura en el que las columnas de la fachada resultaban demasiado esbeltas. Este cambio de rigidez causaron su plastificación y colapso, originando un colapso progresivo de toda la parte anterior del edificio.

El edificio de cuatro plantas de la Asamblea Departamental del Quindío consistía en una estructura de una sola luz, aproximadamente de 10m de longitud entre columnas, con un voladizo de 10m de luz. Las dimensiones del voladizo no eran proporcionales a la luz entre columnas interiores, haciendo excesivamente vulnerable la estructura, que perdió el primer piso en el sismo de las 13:19 y colapsó totalmente con la réplica de las 17:40, como se ve en la figura 14*.

Numerosos daños estructurales se debieron a cambios de rigidez en la altura de las estructuras, como el colapso del tanque de reserva de agua del edificio de la figura 15**.

4.2.5 Mala Calidad de construcción

La mala calidad de los materiales y de la construcción contribuyó al colapso de estructuras y de componentes estructurales. La carencia de supervisión adecuada en la construcción se evidenció con el colapso del voladizo mostrado en la figura 16**, donde puede observarse que el acero de refuerzo longitudinal para resistir momento negativo está colocado en la parte inferior de la losa.

4.2.6 Muros no estructurales.

La práctica común de construcción de edificios en Colombia consiste en estructurar la edificación con un pórtico de hormigón armado y rellenarlo con muros de mampostería simple, que sólo se consideran en el diseño estructural como parte de la carga muerta.

Sin embargo, estos muros se construyen a tope entre losas y entre columnas, restringiendo en la práctica el movimiento libre del pórtico. Los muros tienen una mayor rigidez que la del pórtico por lo que se oponen

* Ver páginas 15 y 16

** Ver página 19

a su movimiento durante cargas horizontales. El pórtico le transfiere esfuerzos a los muros que no pueden resistirlas fisurándose por tracción diagonal, como se observa en la figura 17**. Este tipo de daño se presenta también en muros de fachada, agravado por la costumbre de poner el muro con la tercera parte del ladrillo en voladizo para permitir el enchape de la losa, y sin conexión adecuada.

4.2.7 Fachadas

La caída de los enchapes de fachada en edificios son causa de numerosas víctimas entre los peatones y los residentes de los edificios que salen corriendo por el pánico causado por el sismo.

El extenso uso de enchapes rígidos pegados a los muros de mampostería con mortero de pega convencional es un método constructivo vulnerable ante movimientos laterales de la estructura, como se muestra en la figura 18**.

5. LAS LECCIONES

Aunque de todas las fallas estructurales siempre hay algo que aprender, la mayoría de lo que se presentó en Armenia y sus alrededores, debido al sismo del 25 de enero, no representa un comportamiento sorpresivo o inesperado. Este desastre natural nos enfrenta de nuevo con la cruda realidad de una infraestructura anticuada, combinada con una urbanización informal creciente y desenfrenada.

La mayoría de las víctimas fatales se habrían evitado si las construcciones obedeciesen al estado actual de la técnica o, en su defecto, al estado de la técnica en 1984.

Si no pueden evitarse las irregularidades en planta y en altura, éstas deben acompañarse con un diseño estructural adecuado consistente con las condiciones específicas que generen los cambios de rigidez.

La calidad de los materiales y los procesos de construcción, así como la existencia de supervisión técnica, son fundamentales para una buena respuesta estructural ante aceleraciones del terreno.

Es imperativo que se reduzca la autoconstrucción no supervisada y desordenada, puesto que la estructuración

con mampostería simple o con insuficiente refuerzo es altamente vulnerable ante cargas laterales.

Debe prepararse un plan de contingencia para reducir el riesgo que representan las estructuras vulnerables existentes, indispensables o no. Esta tarea es un proyecto donde la academia tiene especial cabida y al que los entes gubernamentales no pueden hacer frente sin asesoría especializada.

6. REFERENCIAS

Cline, K.M.; Page, W.D., Quaternary activity on Romeral and Cauca faults. northwest Colombia, Rev. CIAF, Vol. 6(1-3), pp. 115-116, Santafé de Bogotá, 1981

ERI, Página de la Red Global, www.eri.u-tokio.ac.jp
Hall, M.L.; Wood, C.A., Volcano-tectonic segmentation of northern Andes, geology. 13:203-207, 1985.

INGEOMINAS, Página de la Red Global, Internet.
www.ingomin.gov.co

McCourt, W. et. al., New geological and geochronological data from the Colombian Andes: Continental growth by multiple accretion, Journal of the Geological Society, London, 141(3):831,845, 1984.

OSSO, Página de la Red Global, Internet.
osso.univalle.edu.co

Parra P., Eduardo y Mejía P., Isabel, Efectos del Sismo del 25 de Enero de 1999 en el Sur Este del Departamento del Quindío, INGEOMINAS, Medellín, 1999.

Sarria, Alberto, Ingeniería Sísmica, Ediciones Uniandes, Santafé de Bogotá, 1995.

USGS, Página de la Red Global, wwwneic.cr.usgs.gov



Figura 15 Tanque colapsado



Figura 17 Muro interior de relleno de pórtico


 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
 SEDE MEDIO LLEN
 DEPTO. DE BIBLIOTECAS
 BIBLIOTECA MINAS



Figura 16. Voladizo colapsado por acero mal colocado



Figura 18 Enchapes de fachada con colapsos parciales



La Gente fresca
sólo se mezcla
con Bretaña.

Naturalmente!

