

La ingeniería al servicio del sismo

*Ing. Mercedes Suarez**

Introducción

Transcurridos cerca de cinco meses del terremoto de la zona cafetera, luego de haber concluido la etapa de "Atención Inmediata" y superada la emergencia propiamente dicha, se llegó bien o mal a la "estabilización", para dar paso y marchar en forma paralela a una tercer etapa o de "reconstrucción".

Además de la pérdida de cerca de 1000 vidas humanas, más de 4000 heridos y 150 mil afectados directos, el terremoto produjo fuertes daños en la infraestructura física, (viviendas, edificaciones y establecimientos) vial y aeroportuaria.

En ninguna otra circunstancia se ve tan seriamente cuestionada la Ingeniería. De una parte, la evaluación de daños arroja

serias deficiencias en la Organización Territorial, (que debe tener en cuenta en forma prioritaria el análisis geotécnico); deficiencias de tipo constructivo, en ocasiones fácilmente previsible. De otra parte, se evalúa la capacidad de prever y aportar soluciones a la reconstrucción de la infraestructura.

Debe sin embargo la INGENIERIA, como ciencia rectora en el asunto, sacar partido del fenómeno natural y servirse de él para el conocimiento geofísico de la zona, la investigación e implementación efectiva de la normatividad existente y la que por el hecho se genere, para evitar al máximo la pérdida de vidas humanas en casos similares, si se tiene en cuenta que además de la zona cafetera, otras importantes ciudades se localizan sobre la llamada zona de alto riesgo sísmico.

* Ingeniera Civil, Docente Programa de Ingeniería Civil – Facultad de Ingeniería – Universidad Militar "Nueva Granada"

El evento sísmico

El sismo se presentó a las 17:40 horas del día 25 de enero, con una intensidad en la escala de Richter de 6.1 Durante el primer mes después de ocurrido el evento principal se registraron 138 réplicas, de acuerdo a los datos de la Red Sismológica Nacional de Colombia. Estos datos han sido correlacionados de acuerdo al tiempo de duración, la frecuencia, la magnitud etc. con fines científicos por parte de INGEOMINAS, buscando elementos que puedan predecir de alguna forma el comportamiento geodinámico del suelo.

Geología

La zona se encuentra sobre un gran depósito volcánico – sedimentario: "GLAXIS DEL QUINDIO" o formación Armenia. Los materiales que lo conforman provienen de la cordillera Central, en su mayoría son producto de la actividad de los Volcanes nevados del Quindío, Santa Isabel y cerro de Santa Rosa. Las erupciones Volcánicas generaron flujos piroclásticos e indujeron lahares por deshielo de los glaciares, descendiendo por El Río Quindío, depositando su carga en los valles intercordilleranos. Finalmente, las erupciones volcánicas aportaron gran cantidad de material piroclástico cubriendo las geoformas con una capa de 10 a 12 metros de espesor. INGEOMINAS, produjo el Mapa de Unidades Geológicas Superficiales, donde se destaca.

SEDIMENTOS ALUVIALES Y FLUVIO TORRENCIALES RECIENTES DEL RÍO

QUINDIO. Es un material relativamente suelto, Los cortes y excavaciones pueden presentar problemas de estabilidad.

PIROCLASTOS DE CAIDA. Es el estrato de fundación de la mayoría de construcciones de la zona. Genera la mayoría de la morfología del área en cuestión.

DEPOSITOS COLUVIALES.

SUELOS RESIDUALES.

DEPOSITOS FLUVIO- VOLCANICOS.

DEPOSITOS VOLCANICOS.

La zona afectada presenta varias fallas pertenecientes al sistema de ROMERAL. Se describen en la zona de oeste a este la Falla de Montenegro, La Falla de Cauca Almaguer (falla del Aeropuerto), la falla de Armenia, el grupo de Fallas de Silvia Pijao, la Falla de San Jerónimo y sobre el eje de la cordillera la Falla de Palestina (INGEOMINAS; 1998) (ver fig. 1).

Es de suponer que algunas de éstas fallas puedan presentar actividad neotectónica. La falla de Armenia se hace evidente dentro de la ciudad en un trayecto aproximado de 10 Kilómetros y coincide, con el hecho que a los lados se encuentran los barrios mas afectados por el sismo, como son San Nicolás, Santa Fé, Rincón Santo, Uribe, Nueva Brasilia (ver fig. 2), Diecinueve de Enero, Gaitán y Carbones entre otros; además se hace un cambio brusco en el comportamiento de la afectación del sismo, en el trazo de la Falla del Danubio,

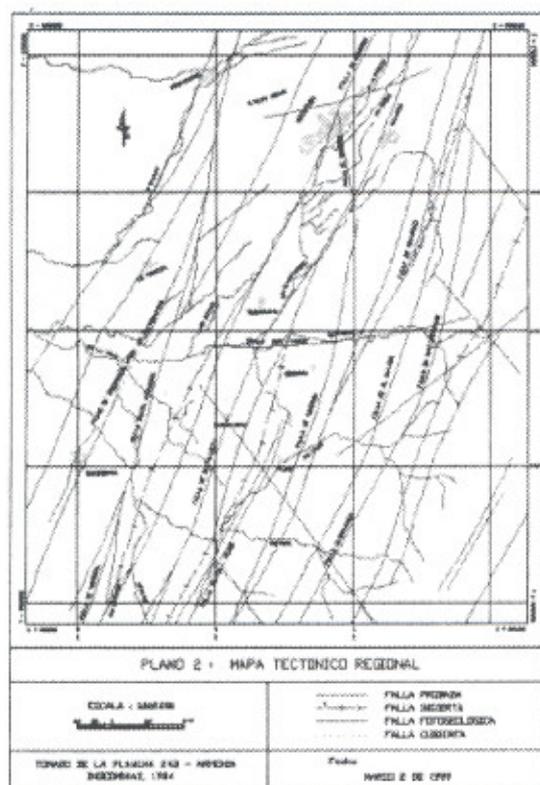


Figura 1

y que limita en forma aproximada la parte oriental de la zona descrita.

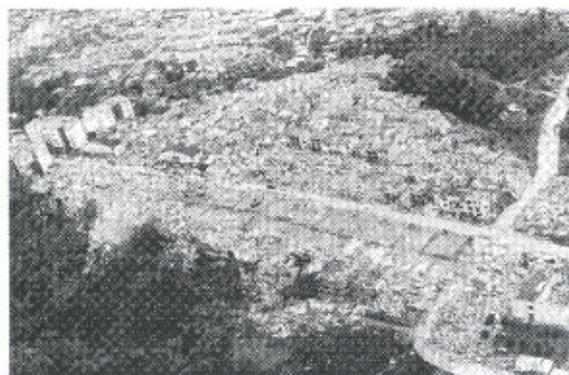


Figura 2

De acuerdo con la información geotécnica existente de la Corporación Regional del Quindío, de la Universidad de Caldas y ensayos realizados, Ingeominas adelantó una ZONIFICACION GEOTECNICA, de acuerdo a la caracterización de los materiales, tipo de suelo, resistencia, propiedades mecánicas, compacidad y humedad (INGEOMINAS, 1999) Esta información es indispensable para la reconstrucción que se adelante, mientras se concluye la microzonificación sísmica que será la base fundamental para el ordenamiento territorial.

ZONA I. SUELOS VOLCANICOS.

ZONA II. SUELOS RESIDUALES DE DEPOSITOS FLUVIO-VOLCANICOS.

ZONA III. NIVEL DURO (depósito FLUVIOVOLCANICO).

ZONA IV. SUELOS ALUVIALES DE TERRAZAS ELEVADAS.

ZONA V. SUELOS ALUVIALES DE LLANURA DE INUNDACION

Localizados en las márgenes del río Quindío, dado que son terrenos que forman parte del lecho del río debe evitarse cualquier desarrollo urbanístico en ellos.

ZONA VI. SUELOS COLUVIALES.

Aspectos geotécnicos

Según los resultados de tipo geotécnico hay varios asuntos que se deben tener en

cuenta para el análisis de la respuesta estructural deficiente de las construcciones en el evento sísmico:

Componente vertical de la aceleración

La componente vertical de la aceleración estaba entre el 82 % de la componente E-W y el 90% de la componente N-S. Es un valor excesivo y supone tenerlo en cuenta para posteriores análisis estructurales.

Efecto de resonancia

Es fundamental el análisis de las condiciones geométricas del subsuelo, pues se encontró una correlación entre el nivel de daño de las estructuras y el espesor del suelo, lo cual hace pensar que el período natural de la estructura resultó en casos similares al período fundamental del depósito de suelo subyacente, produciéndose el llamado "EFECTO DE RESONANCIA".

Esta puede ser una explicación para que en depósitos de suelo de poco espesor, las estructuras de uno y dos pisos sufrieran colapso total, en tanto que en la misma área las estructuras de cinco y seis pisos se mantuvieron en pie. Caso contrario, en depósitos de suelo de gran espesor se ocasionara mayor daño a las estructuras de cinco y seis pisos que las de un piso (ver fig. 3).



Figura 3

Amplificación de ondas de corte

Las ondas de corte pueden presentar amplificaciones importantes de la señal incidente cerca de un obstáculo topográfico, cuando se asemeja el valor de la longitud de onda del sismo con la altura del obstáculo topográfico. Dada la concentración de daños en edificaciones cercanas a dichos obstáculos y la evaluación de la longitud de onda, es muy posible que éste sea un caso que se halla presentado en barrios vecinos a obstáculos topográficos como es el caso del barrio Nueva Brasilia (figuras 2 y 3).

Aspecto estructural

Es verdaderamente complicado tratar de establecer las deficiencias de tipo estructural que pudieran ser causantes del colapso total, parcial y daños muy severos en tan elevado número de construcciones. En verdad, cada construcción tiene unas características singulares, dignas de ser

analizadas una a una; sin embargo, cabe destacar varias observaciones.

- El colapso total y parcial en estructuras estuvo en bastantes casos sectorizado. La zona de mayor daño coincide con los costados de la llamada "falla de Armenia", además del efecto de "resonancia" y amplificaciones por obstáculos topográficos, coincide con construcciones antiguas, sin diseño antisísmico, en casos carentes de refuerzo estructural.
- Debe tenerse en cuenta que dan mejor respuesta estructural aquellas construcciones, cuyo diseño presenta simetría y regularidad tanto en planta como en elevación, debido a que se presenta mayor uniformidad en la distribución de esfuerzos al encontrar una distribución uniforme de rigidez, resistencia y ductibilidad, contrario a las que permiten concentraciones excesivas de esfuerzos por asimetrías.
- Según la evaluación de daños, se repitió la falla de las estructuras por pura desatención a los conocimientos básicos de ingeniería; consignados en el código:
 - Distancias entre flejes que no cumplen la exigencia del diseño antisísmico.
 - Ampliaciones que en muchas ocasiones las diseña el mismo propietario y generalmente carecen de diseño estructural antisísmico.
 - O casos de la viga canal en concreto, con pesos excesivos, que gene-

raron momentos de gran valor, destruyendo las fachadas de las viviendas.

A pesar que muchas estructuras de madera y bahareque fallaron, es de anotar la excelente respuesta de la madera, las construcciones son más flexibles que las de mampostería con una mejor respuesta ante el sismo, además de tener un peso mucho más bajo. Uno de los barrios de la parte sur de Armenia, Loma de la Unión, totalmente construido en guadua obtuvo una respuesta bastante favorable ante el movimiento telúrico, solamente 12 de 73 viviendas sufrieron daños de consideración, pese a que está localizado es zona de deslizamiento.

Aspecto constructivo

Entre los daños más frecuentes que se detectaron debido a problemas de tipo constructivo, pueden destacarse:

- El desplazamiento y caída de tejas de cubierta por ausencia de amarre.
- Colapso de armadura de cubierta, en ocasiones por luces muy grandes.
- Agrietamiento de muros en bahareque.
- En mampostería, se presentaron deficiencias en la construcción en la traba e incluso en material de pega.
- Aún en construcciones posteriores al año 84, con diseño estructural antisísmico, se presentó con mucha frecuencia el llamado "efecto de columna corta" por deficiencia en la colocación de armadura antisísmica.

- Desplome de elementos arquitectónicos no estructurales por falta de "amarre" a la estructura, en ocasiones éstos elementos terminan participando como estructurales durante el evento sísmico, lo cuál demanda el cumplimiento de la norma del CCSR 84 donde ya se contempla éste aspecto.

Conclusiones y Recomendaciones

La mayor parte de estructuras con colapso total o parcial, se presentó en la zona de influencia de la falla de Armenia, lo que pone de manifiesto su actividad neotectónica.

Tanto el ordenamiento Territorial de la zona, como las especificaciones de tipo estructural y constructivo de la reconstrucción, deben basarse en las investigaciones, Geotécnicas y sismotectónicas que adelanta INGEOMINAS, LAS UNIVERSIDADES ANDES, DEL QUINDIO Y NACIONAL. Antes de los resultados definitivos que pueden tardar algunos meses, debe trabajarse con los resultados preliminares.

Existen áreas en las cuales que vale la pena reevaluar el uso que se les dé dada la vulnerabilidad del suelo ante el evento sísmico.

- Hay además gran cantidad de construcciones falladas que se encuentran sobre rellenos, que vale la pena verificar en sus características geomecánicas para desarrollar cualquier proyecto de reconstrucción sobre ellos.

- INGEOMINAS en su informe preliminar #3, recomienda restringir la construcción de viviendas en los bordes de los taludes ya que son zonas que pueden presentar deslizamientos o ampliaciones que generarán mejorados.
- En el Barrio Nueva Brasilia, destruido casi en un 90 % por efecto del sismo, se descubren deficiencias constructivas, efecto del fenómeno de resonancia y ampliaciones de la señal incidente asociadas a la topografía.
- Las construcciones con menor daño se localizaron en el sector norte, lejos de la influencia de las fallas de Armenia y El Danubio, coinciden con ser de estratos más altos, con mayor posibilidad de labor profesional en las obras; además de ser la parte más nueva de Armenia, posterior al código antisísmico.
- El fenómeno sísmico conduce y proyecta varios frentes de investigación interdisciplinaria en ingeniería y geotécnica, que no pueden dejarse pasar por alto, dada la localización del centro del país en zona de riesgo sísmico "ALTO".
- No es posible extrapolar resultados de investigación, pero si tomar en cuenta fenómenos que puedan presentarse en otros sitios o en otras ocasiones.
- Muchos de los daños ocasionados por el sismo obedecen a pobreza en los diseños y en la construcción más que

a la deficiencia en la Ciencia de Ingeniería.

- Vale la pena no solo la elaboración y difusión de la norma antisísmica sino también el control para que se aplique si se tiene en cuenta que un buen porcentaje de construcciones en todo el país es elaborado por los mismos propietarios y en general personas poco idóneas.
- Teniendo en cuenta las condiciones tan específicas de la ciudad de Armenia, vale la pena contemplar la alternativa que ya desde antes se ha planteado para la zona y es del mayor uso de guadua y materiales de acabados más livianos en las construcciones.
- Debe divulgarse en forma masiva el manual, o cartilla elaborado por El SENA con estructuras básicas de construcción antisísmica en viviendas de uno y dos pisos, inclusive complementarse con recomendaciones de materiales de bajo peso e inclusive la limitación de la viga canal en concreto, si no hace parte de una estructura antisísmica formal.
- El manual debía contener además, condiciones precisas si se quiere hacer una ampliación, y la recomendación

de no hacerla en forma precaria, sin el correspondiente análisis estructural.

- INGEOMINAS en su informe preliminar recomienda restringir la construcción de viviendas en los bordes de los taludes.

Bibliografía

EL TIEMPO, enero 26 a abril 13 de 1999.

PLAN DE DESARROLLO, fase preliminar, disposiciones para el EJE CAFETERO.

INGEOMINAS, 1999, "terremoto del Quindío" (ENERO 25 DE 1999), informe técnico preliminares #1, Santa Fé de Bogotá.

INGEOMINAS, 1999, "terremoto del Quindío" (ENERO 25 DE 1999), informe técnico preliminares #2, Santa Fé de Bogotá.

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 1997 "Microzonificación sísmica preliminar de la ciudad de Armenia Quindío"

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SISMICA, INGEOMINAS, UNIANDES. "Estudio General de amenaza sísmica en Colombia".1998.