

REVISTA Universidad EAFIT
Vol. 44. No. 149. 2008. pp. 88-108

Construcciones en zonas geológicamente inestables: colapso de una vivienda en la Vía Medellín - Santa Elena



Rodrigo Iván Osorio M.

Ingeniero civil. Profesor titular, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad EAFIT.

riosorio@eafit.edu.co

Gloria María Sierra L.

Ingeniera Geóloga, Máster en Geología. Profesora titular, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad EAFIT.

gsierra@eafit.edu.co

Recepción: 09 de septiembre de 2007 | Aceptación: 09 de enero de 2008

Resumen

La vía Medellín - Santa Elena, sector Media Luna, ha venido presentando desde tiempo atrás problemas de movimientos de laderas como consecuencia de varios fenómenos geológicos, entre ellos, los procesos de lavados por aguas subterráneas. El aumento del tráfico vehicular en las dos últimas décadas ha acelerado el deterioro, que es evidente en las estructuras aledañas a ella. Este estudio analiza el caso de una construcción liviana (finca de recreo) de dos plantas, localizada a pocos metros de la vía. La investigación comprendió la evaluación del estado estructural del inmueble, descripción, caracterización y clasificación de las grietas y fisuras, definición del perfil geotécnico característico de la zona aledaña y determinación de las propiedades de los suelos. Los resultados obtenidos permitieron determinar el origen de los daños arquitectónicos y estructurales originados por los desplazamientos en varias direcciones, los cuales ocasionaron finalmente el colapso de la obra.

Palabras Clave

Asentamiento
Santa Elena
Coluvio
Grietas
Estructura
Pórtico

Buildings in unstable geological area: collapse of a house in Medellín – Santa Elena Road

Abstract

For quite some time the Medellín – Santa Elena Road (Media Luna sector) has been presenting slope stability problems due to different geological phenomena, such as soil washing. The increasing traffic of the last two decades has accelerated the slope deterioration, evident in the nearby structures. The case of a light, two-story construction (country house) located a few meters from the road is analyzed in this paper. The investigation included the evaluation of the current structural state of the house; description, characterization and classification of cracks and fissures; and the definition of the geotechnical profile and properties of the foundation soil. The results obtained showed that the architectural and structural damage were caused by soil displacements in different directions causing, ultimately, the structural collapse of the construction.

Key words

Settlement
Santa Elena
Colluvium
Crack
Structure
Frame

Introducción



Se consideran construcciones livianas las que transmiten al suelo cargas ligeras y producen asentamientos bajos. La fundación es la parte de la subestructura que está en contacto con el suelo o la roca y le transmite las cargas, que le llegan a través de muros o columnas. La obra objeto de la investigación es una vivienda de dos plantas, construida en dos etapas, y clasificada como una estructura liviana.

El área donde se encontraba emplazada esta construcción se caracteriza por presentar depósitos de vertientes en una zona geológicamente inestable. Ante una situación de tales características, antes de adelantar una construcción, se deben realizar estudios geotécnicos y estructurales, enmarcados dentro de las condiciones geológicas del área y los elementos de infraestructura aledaños a ella, ya que se podrían producir modificaciones en el terreno en un futuro cercano. Tales estudios, en muchos casos, fueron obviados, lo que permitió que esa inestabilidad repercutiera en las obras ya realizadas.

El objetivo de este artículo es presentar la descripción de los daños en una construcción, a través

del tiempo, el diagnóstico de las causas y las consecuencias finales como resultado de la falta de estudios adecuados para obras livianas o de poca magnitud, en áreas geológicamente inestables.

1. Localización del Área de Estudio

La construcción, a la cual se le realizó el estudio, se ubicaba sobre la Vía Medellín – Santa Elena, sector de Media Luna, kilómetro nueve, al oriente del Valle del Aburrá (Figura 1).

2. Metodología

Acorde con las características observadas en el sitio, se realizó una investigación geotécnica, la cual comprendió:

- Visitas al terreno, observación y descripción detallada de la problemática existente, tanto a nivel de la vivienda, como de las zonas aledañas (en un radio aproximado de un kilómetro).
- Clasificación de daños en la obra, según Audell (1996) y Burland, Broms & De Mello (1977).

- Excavación de tres apiques manuales, con una profundidad máxima de 2,5 m, y descripción de los perfiles.
- Toma de siete muestras alteradas y de dos muestras inalteradas, en tubos
- Shelby.
- Ensayos de laboratorio: clasificación, humedad, compresión simple, pasante por tamiz número 200, gravedad específica, grado de saturación y pesos unitarios.

Figura 1. Localización y marco geológico del sitio de emplazamiento de la vivienda. (Modificado de Correa y Martens, 2000, Área Metropolitana, 2005)



2.1 Método clasificatorio de los tipos de daños

Los daños visibles en viviendas y edificios pueden clasificarse dentro de tres categorías generales (Boscardin & Cording, 1989; Bromhead, 1984; Feld & Carper, 1997; Skempton & MacDonald, 1956):

Daño arquitectónico: sólo afecta la apariencia y se relaciona, usualmente, con problemas de humedades o con fisuras, donde su apertura no supera un milímetro, bien sea en sistemas de muros o en pisos y acabados.

Daño funcional o de servicio: este afecta el uso convencional de la vivienda como, por ejemplo, puertas, ventanas y molduras obstruidas o colgadas, o fisuras de hasta cinco milímetros de ancho. Los movimientos superficiales del terreno o fugas en techos, paredes y pisos son, generalmente, el motivo principal del deterioro prematuro de los materiales.

Daño estructural: abarca aquellos daños que afectan la estabilidad general de la estructura, así como el colapso total de esta, pues incluye grietas y distorsiones en los elementos estructurales como las vigas, columnas o muros estructurales.

Además de estos tipos de daños existe otra categoría que describe deterioros no palpables a la vista o al tacto, pero que también pueden afectar la estabilidad estructural de la edificación:

Daño latente: es un debilitamiento oculto en la estructura, el cual se puede detectar revisando las memorias de cálculo o ejecutando ensayos poco convencionales, de construcción de materiales, pruebas no destructivas, o con la inspección de los elementos estructurales defectuosos. Este tipo de daño es un problema velado donde la falla puede ocurrir (Greenspan *et al.*, 1989).

2.2 Sistema de clasificación de discontinuidades

La clasificación de las diferentes discontinuidades, ya sean fisuras o grietas, presentes en los elementos estructurales y no estructurales se ejecutó de acuerdo con el *Geotechnical nomenclature and classification system for crack patterns in buildings* (Audell, 1996). Esta metodología de codificación de discontinuidades es un sistema de enumeración y clasificación taxonómica geotécnica de patrones de



discontinuidades. Fue introducido con el propósito de nombrar y describir fisuras en paredes y losas¹. Tal nomenclatura de clasificación, denotada por las letras entre paréntesis y denominadas conforme a sus siglas en inglés de acuerdo con la propuesta original, se basa en los aspectos que se enuncian a continuación. (Véase la clasificación en las Figuras 8 a 13 y su localización en las figuras 14 y 15.)

- *La causa probable del movimiento del terreno*, donde los procesos superficiales más comunes que influyen en el comportamiento geotécnico y estructural de la edificación son: asentamientos (**N**), expansiones (**R**), deslizamientos, empujes y reptaciones (**E**), movimientos sísmicos (**S**) y las causas no geotécnicas o no definidas (**U**). Dentro de esta última categoría se incluyen fenómenos asociados con la apertura de juntas de dilatación o por desecación excesiva del hormigón o del estuco.
- *La orientación de la discontinuidad*, destacándose en las paredes las tendencias verticales (**V**), diagonales (**D**) y horizontales (**H**); y en los pisos las paralelas (**P**), oblicuas (**O**) y radiales (**R**).
- *El tipo de presión aplicada*, ya sea por tensión (**T**), por corte (**S**) o compresión (**C**). El movimiento del terreno y el movimiento sísmico pueden generar en las edificaciones cualquiera o todos los tipos de presiones descritos.
- *El tipo de discontinuidad*, que se denota de acuerdo con la amplitud de la separación de la discontinuidad así: si es menor o igual a 5 mm es fisura (**C**), de lo contrario es una grieta (**G**).

La clasificación y codificación de cada discontinuidad se efectuó en correspondencia con el

orden secuencial de estas siglas proporcionadas por cada una de las categorías, es decir, la primera letra denota la causa probable del movimiento del terreno, el segundo carácter dice la orientación de la discontinuidad, la tercera cifra muestra el tipo de presión aplicada y el último símbolo clasifica el tipo de discontinuidad (véase las Figuras 8 a 15).

2.3 Descripción de discontinuidades

Adicionalmente, la clasificación de las discontinuidades está acompañado por una descripción del estado en que se encontraba cada una de ellas. La metodología utilizada es la de Audell (1996), incluida en el sistema antes mencionado, la cual se consigna en la Tabla 1. Adjunto a tal descripción esquemática, se optó por clasificar la severidad de la separación de aquellas irregularidades clasificadas como grietas, de acuerdo con las anotaciones propuestas por Boone (1996), Burland *et al.* (1977) y Day (1998), la cual se expone en la Tabla 2.

3. Características Geológicas y Geotécnicas

Conforme con las anotaciones de Correa y Martens (2000), en el área afloran las unidades litológicas, Dunitas de Medellín y Anfibolitas de Medellín (Figura 1), donde las primeras se extienden por encima de las segundas mediante un contacto fallado, generalmente subhorizontal. La construcción, objeto del estudio, se emplazó sobre coluvios, caracterizados por bloques de anfibolita alterada. Los coluvios se encuentran distribuidos a lo largo de las vertientes de la zona, caracterizados por una fábrica grano-soportada, con bloques angulares a subangulares de anfibolita alterada, embebidos en una matriz limo-arcillosa.

¹ Este sistema no aplica para discontinuidades en elementos de madera.

Tabla 1. Descripción, caracterización y ocurrencia de discontinuidades

Separación de discontinuidades		Grado de Discontinuidad	
Clasificación	Separación (mm)	Clasificación	Descripción
Cerrado	0	General	>7.62 m por cada 9.29 m ²
Muy estrecho	0 – 0,5	Moderado	4.57 m a 7.62 m por cada 9.29 m ²
Estrecho	0,5 – 1,0	Ocasional	3.05 m a 4.57 m por cada 9.29 m ²
Amplio	1,0 – 5,0	Particular	<3.05 m por cada 9.29 m ²
Muy amplio	>5,0		

Clasificación	Descripción
Textura Superficial	
Muy suave	No se detectan asperezas a la vista ni al tacto
Suave	Visiblemente suave y poco áspero al tacto
Rugoso	Las asperezas son claramente visibles y se siente abrasivo
Muy rugoso	Asperezas angulares y largas
Probabilidad de Aparición	
Común	Aparición frecuente
Raro	Aparición aleatoria
Tendencia de la Discontinuidad	
Lineal	Tendencia con ausencia de curvas
Moderadamente lineal	Curvatura prácticamente imperceptible
Moderadamente curvilínea	Tendencia de curvatura en los extremos de la discontinuidad
Curvilínea	Ausencia de secciones rectas
Irregular	Tendencia errática y bifurcada
Dirección de Propagación para Muros	
Descendente	Hacia el piso
Ascendente	Hacia el techo
Lateral	Recorre todo el muro de forma vertical
Paralela	Recorre todo el muro de forma horizontal
Dirección de Propagación para Pisos	
Interno	Propagación hacia el interior del piso
Externo	Propagación hacia el exterior del piso
Paralelo	Propagación que recorre toda la extensión del piso
Grado de Meteorización	
Nulo	Textura original preservada, sin decoloración o redondeamiento de superficies
Poco meteorizada	Textura preservada, poca decoloración y redondeamiento de superficies apenas visible
Medianamente meteorizada	Textura principal preservada, mayor decoloración y redondeamiento de superficies
Altamente meteorizada	Textura parcialmente preservada, total decoloración y redondeamiento de superficies

Fuente: adaptación a partir de Audell (1996).

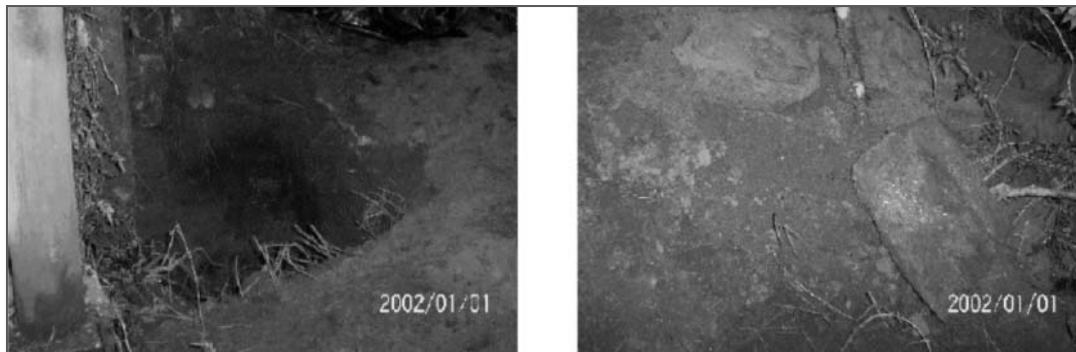
Tabla 2. Clasificación de la severidad y la separación de grietas

Categoría	Separación de la grieta (mm)	Descripción del daño
Moderado	5 a 15	El límite de seguridad, desde el punto de vista psicológico, se ve perturbado. Se requiere de algunas reparaciones.
Severo	15 a 25	Aperturas, tipo puertas o ventanas, se notan muy distorsionadas. Incluye reparaciones extensas y reemplazos de secciones.
Muy severo	> 25	Daño que se traduce en grave inestabilidad estructural. Requiere de una reparación parcial o completa de la sección involucrada.

Fuente: Adaptación a partir de Boone (1996), Burland *et al.* (1977) y Day (1998).

3.1 Marco geotécnico local

Desde el punto de vista geotécnico, la construcción se localizaba sobre un depósito de vertiente (flujo de escombros), caracterizado por una matriz tipo limo a limo-arcilloso, con ceniza volcánica, de color pardo a naranja oscuro, que envuelve una mezcla de fragmentos de roca subangulares a subredondeados, mal seleccionados, los cuales presentan un grado de meteorización bajo. La variabilidad del subsuelo, para el sector donde se localizaba la casa, corresponde a la categoría baja (NSR-98) según ACIS (1998), la cual corresponde a terrenos en donde no existen variaciones importantes entre un sondeo y sus vecinos, y presenta espesores y características mecánicas aproximadamente homogéneas (figuras 2, 3, 4 y 5).

Figura 2. Detalle de apiques 1, 2 y 3, y los materiales asociados a éstos

(a) Apique 1



(b) Apique 2



(c) Apique 3

Figura 3. A-1, Perfil estratigráfico y propiedades geomecánicas analizadas en laboratorio

CASA EN CORREGIMIENTO SANTA ELENA								
Localización: Vía Medellín - Santa Elena, km 9				Fecha: Junio - 2004		Apique: A - 1		
Profundidad (m)	Muestreador	Nivel Freático	Símbolo	Descripción del Suelo	IP (%) - LL (%)		Humedad Natural, w (%)	
					Pasa #200 (%)			
					20	40	60	80
0.2	MANUAL	NO DETECTADO	[Diagonal lines symbol]	Depósito limo - arcilloso derivado de anfibolita, mezclado con ceniza volcánica, de color pardo amarillento. A 0.5 m se encontró una sección de tubería de aguas lluvias.				
0.4								
0.6								
0.8								
1.0			[Dotted symbol]	Depósito gravitacional de anfibolita, fragmentos de roca del 80%, con diámetro de 0.20 m, distribuidos aleatoriamente; forma subangular a subredondeada, frescos. Matriz limo-arcillosa, color pardo amarillento.	←	■	▲	●
1.2			[Cross-hatched symbol]	Depósito gravitacional de anfibolita con fragmentos de roca del 80%, los cuales tienen entre 0.80 m de diámetro, distribuidos aleatoriamente; son de forma subangular a subredondeada, frescos. La matriz es un limo-arcilloso de color rojizo.				
1.4								
1.6								
1.8								
2.0								

Figura 4. A-2, Perfil estratigráfico y propiedades geomecánicas analizadas en laboratorio

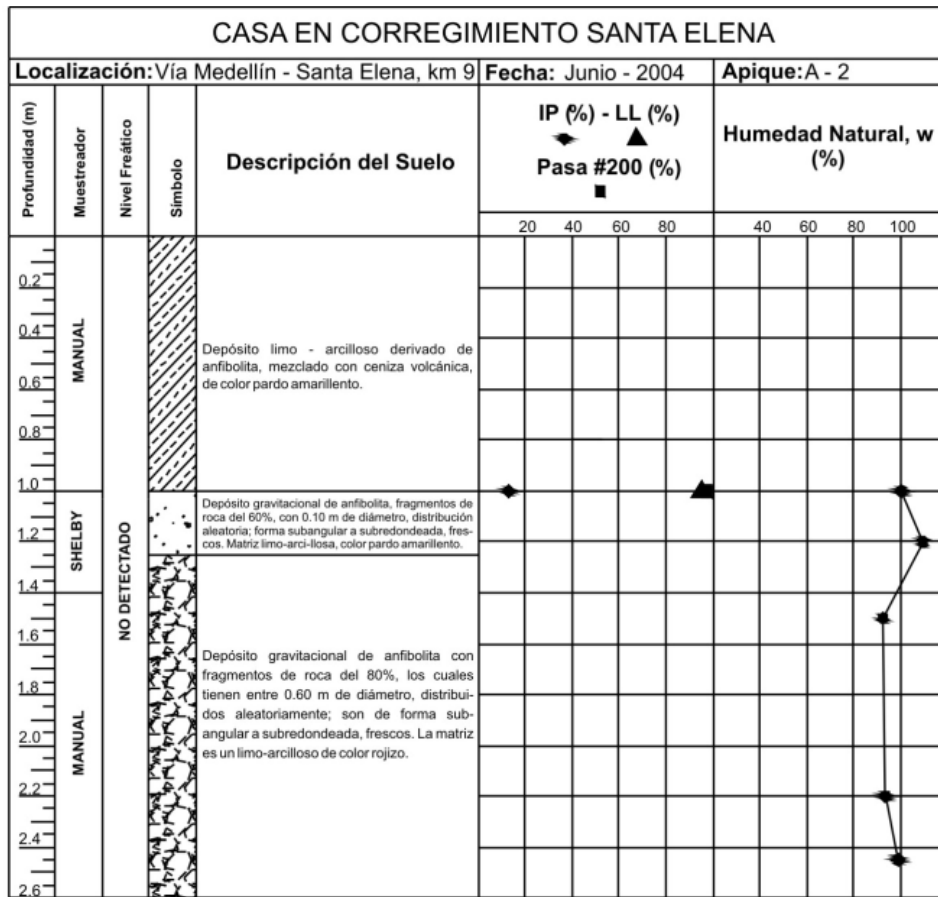
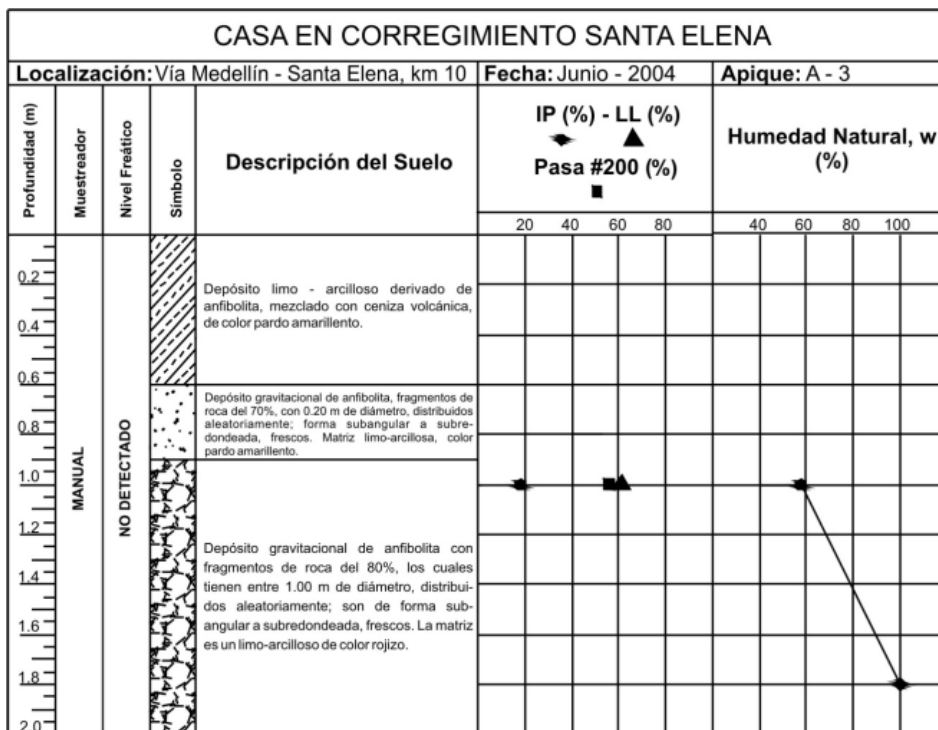


Figura 5. A-3, Perfil estratigráfico y propiedades geomecánicas analizadas en laboratorio



3.2 Características físicas

En consonancia con los resultados de las pruebas realizadas en los laboratorios de la Universidad EAFIT (Tabla 3), se puede observar que las humedades (w) son altas, ya que en promedio son del orden del 90,7 %, disminuyendo con la profundidad. Sólo existe una inconsistencia en la muestra M-7 del apique A-3, donde la humedad fue del 37,6 %, lo cual es natural en los suelos tropicales húmedos, donde los contenidos de agua con frecuencia son diferenciales. Con referencia al grado de saturación (S_r), el valor de $S_r = 92,7$ % es alto, pero el suelo no está saturado.

Según los parámetros de consistencia (límite líquido, **LL**, e índice plástico, **IP**), la matriz que constituye los flujos de escombros se clasifica como un limo inorgánico de alta compresibilidad, MH, de acuerdo con el USCS (Figura 6). Conforme con las anotaciones de Atterberg, los valores deducidos de los índices de consistencia, índice de fluidez o liquidez (**IL**) e índice de plasticidad (**IP**) (tablas 4 y 5) indican que, en general, la matriz del apique A-1 se encuentra en un estado medianamente blando, la del apique A-2 en un estado líquido y la del apique A-3 en un estado sólido (Tabla 3). Además, los resultados también muestran que la matriz del apique A-1 tiene una plasticidad media y las matrices de los apiques A-2 y A-3 tienen una plasticidad alta (tablas 2 y 3).

Tabla 3. Ensayos de laboratorio. w , humedad; **IP**, índice plástico; **LL**, límite líquido; pasa # 200, pasante por el tamiz número 200; G_s , gravedad específica; γ_n , peso unitario húmedo; γ_d , peso unitario seco; q_u , resistencia última; e , relación de vacíos; n , porosidad; S_r , grado de saturación

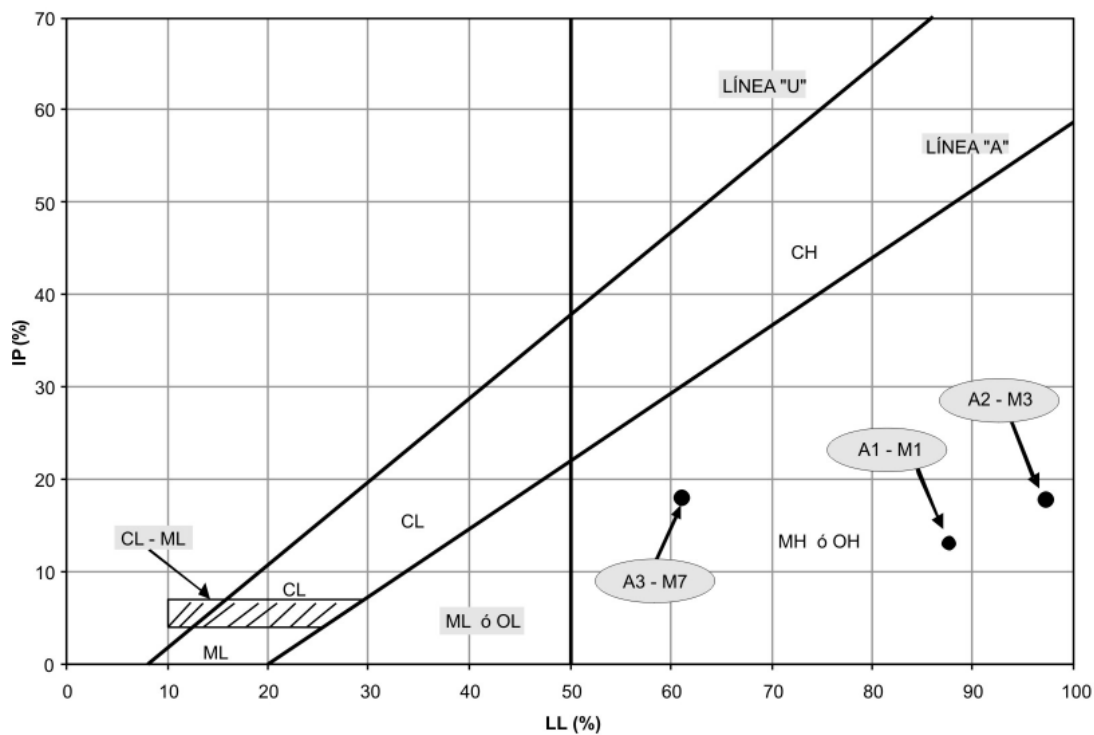
Muestra	Prof. (m)	w (%)	LL (%)	LP (%)	Pasante No.200 (%)	G_s	γ_n (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	q_u (kg/cm ²)
Apique A-1									
M-1	1.00	80.3	87.6	74.4	77.3				
M-2	1.50	72.3							
Apique A-2									
M-3	1.00	100.3	97.2	79.3	94.9	2.000			
M-4	1.20	109.4					1.324	0.632	0.39
M-5	2.20	93.6							
M-6	2.45	98.8							
Apique A-3									
M-7	1.00	37.6	61.0	42.9	55.7	2.554			
M-8	1.80	80.2							
Apique	Muestra	Profundidad (m)	IP (%)	IL (%)	e	n (%)	S_r (%)		
A-1	M-1	1.0	13.2	0.45					
A-2	M-3	1.0	17.9	1.17					
	M-4	1.2			2.16	68.0	92.7		
A-3	M-7	1.0	18.1	-0.3					

Tabla 4. Características del suelo de acuerdo con el índice de fluidez según Jumikis (Osorio, 2002)

IL	Características del suelo
0.00 – 0.25	Suelo tenaz (plasticidad nula)
0.25 – 0.50	Suelo medianamente blando
0.50 – 0.75	Suelo blando
0.75 – 1.00	Suelo muy blando

Tabla 5. Clasificación de suelos según Atterberg (Osorio, 2002)

IP (%)	Plasticidad	Tipo de Suelo	Cohesión
0	Nula	Arena	Sin cohesión
< 7	Baja	Limo	Parcialmente cohesivo (baja)
7 a 17	Media	Limo arcilloso, arcilla limosa	Cohesivo
> 17	Alta	Arcilla	Muy cohesivo

Figura 6. Carta de plasticidad de Casagrande (1948). Clasificación de suelos analizados en el área de estudio, apiques 1, 2 y 3: A₁ - M₁, A₂ - M₃ y A₃ - M₇

4. Características de la Construcción

El proyecto estudiado corresponde a una vivienda construida en los años 60. Inicialmente era de un solo nivel, pero fue aumentada a dos niveles durante la década de los 80. En el lote, fue necesario realizar dos cortes del terreno, para la ampliación, cada uno de aproximadamente dos metros, dado que esta se hizo tanto en forma vertical como horizontal. A partir de la información recogida se puede inferir que en ninguna de las dos etapas se adelantaron estudios de suelos, selección del material de lleno, ni se diseñó un sistema de drenaje para la evacuación rápida del agua que

puieda penetrar tras el muro de contención. Para la cimentación ocurrió algo similar, dado que no se estudiaron las propiedades geomecánicas de los materiales ni la capacidad de soporte del terreno.

4.1 Fundaciones

Las cimentaciones de la casa estaban conformadas por una serie de zapatas corridas, con dos tipos de arreglos estructurales diferentes. El primero consistía en un sistema de cimentaciones de hormigón armado, mientras que el segundo era del tipo concreto ciclópeo. Las dimensiones de las zapatas eran de aproximadamente 0,50 m x 0,50

m, con una profundidad de desplante entre 0,5 m y 0,7 m.

4.2 Sistema estructural

Consistía en un sistema combinado de pórticos de hormigón y muros cargueros en mampostería. A nivel de la cimentación y del remate de los muros, no se contaba con vigas de amarre, lo que hacía que la estructura tuviera un confinamiento bajo,

reduciendo notoriamente su resistencia antes solicitaciones de cargas horizontales y verticales.

La configuración y especificaciones acá presentadas fueron obtenidas a partir de mediciones directas en el campo y los testimonios de los vivientes, los cuales fueron testigos de la ampliación. Las cargas actuantes en la estructura fueron estimadas a partir de lo anterior y de acuerdo con lo especificado en las NSR-98 (ACIS, 1998). Dicha información se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Cargas y factores de diseño para las condiciones de la estructura, según las recomendaciones del título B de las NSR – 98

Tipo de carga	Carga (kg/m ²)	Factor de carga mayorada	Carga mayorada (kg/m ²)
Planta alta			
Área (m²) = 140,4			
Carga muerta			
Columnas de hormigón	55	1,4	78
Columnas de madera	2	1,4	3
Muros de fachada y divisorios	236	1,4	330
Cubierta	136	1,4	190
Acabados (pisos y ventanas)	110	1,4	154
Carga viva			
Carga viva requerida	180	1,7	306
Carga subtotal	719		1.061
Planta baja			
Área (m²) = 53,3			
Carga muerta			
Columnas de hormigón	215	1,4	301
Muros de fachada y divisorios	535	1,4	749
Acabados (pisos y ventanas)	110	1,4	154
Carga viva			
Carga viva requerida	180	1,7	306
Carga subtotal	1.040		1.510
CARGA TOTAL	1.759		2.570

5. Análisis de los Resultados

Debido al incremento en el tránsito vehicular en la Vía Medellín – Santa Elena, durante la década de los años 90, y por efecto de la construcción de peajes en el oriente cercano (Autopista Medellín – Bogotá, Vía Las Palmas y Vía Palmas – Aeropuerto), se empezaron a presentar agrietamientos en la vía aledaña a la casa, en los bordillos de la carretera (Figura 7), en los pisos y muros de la vivienda, así como en las estructuras de contención y en el terreno propiamente dicho.

Figura 7. Agrietamiento en bordillos y pavimentos de la vía principal. Obsérvese la dirección de las grietas perpendiculares a la obra



5.1 Daños en la estructura

Durante las visitas realizadas a la vivienda, en el transcurso de dos años y medio, se observó que la mayoría de los elementos estructurales (muros, vigas y columnas) sufrían daños funcionales o de servicio, arquitectónicos y estructurales, los cuales se iniciaron a mediados de los años 80 y se aceleraron a finales de los 90. Los daños presentados en la estructura eran del tipo grietas y desplazamientos horizontales y verticales, principalmente.

5.1.1 Daños arquitectónicos. Estos daños obedecen, principalmente, a la migración de

humedad por filtración en ciertos sectores del acabado interior del techo, además a fisuras menores, como se indica en las figuras 8 y 9. (Véase detalle de ubicación en plano, en las figuras 15 y 16.)

5.1.2 Daños funcionales o de servicio. Se deben principalmente a la apertura de discontinuidades tipo fisuras, como se aprecia en las figuras 8 y 9 y de acuerdo con los planos de las figuras 15 y 16.

5.1.3 Daños estructurales. Se deben a la apertura de discontinuidades tipo grietas, como se detalla en las figuras 10 a 14. (Véanse los planos de las figuras 15 y 16.)

Figura 8. Discontinuidades en el muro B (izquierda) y en el piso a lo largo del eje 8 (derecha) en la planta alta de la edificación (ver figuras 15 y 16)



Discontinuidad 11-EVTG

Discontinuidad 02-EPTG

Figura 9. Discontinuidades en la columna 5H (izquierda) y en la columna 8H (derecha) en la planta alta de la edificación (ver figuras 16 y 17)



Discontinuidad 39-EVTG

Discontinuidad 45-NVSC

Figura 10. Discontinuidades en el piso de la cocina (izquierda) y en la parte exterior (derecha) en la planta alta de la edificación



Discontinuidad 24-EPTG

Discontinuidad 02-EOTG

Figura 11. Discontinuidades en la columna 8F en la parte superior (izquierda) y en la parte inferior (derecha) en la plata baja de la estructura



Discontinuidad 48-EDSG

Discontinuidad 48-EDSG

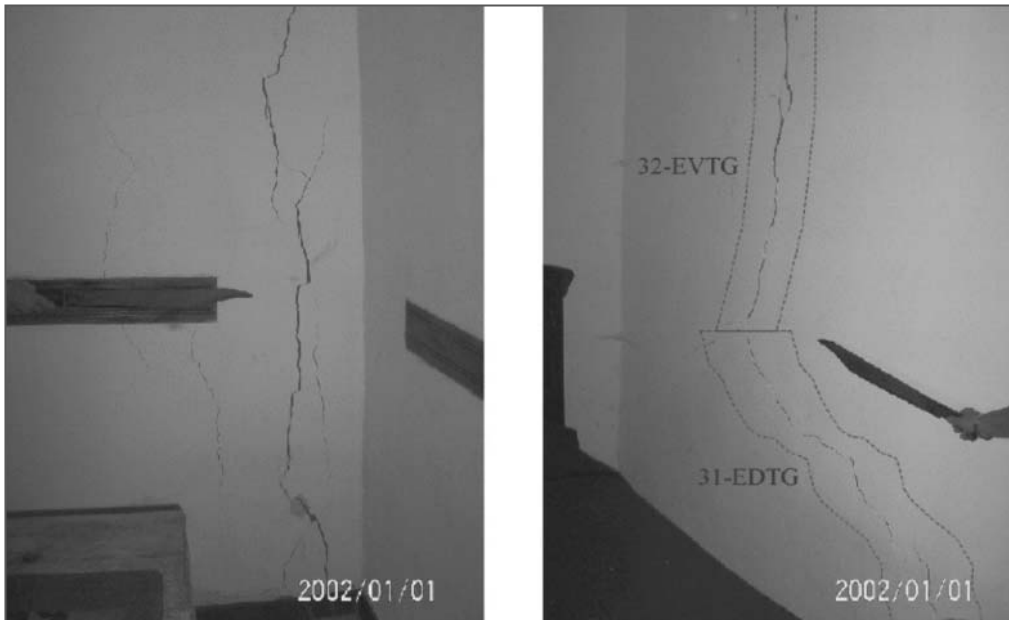
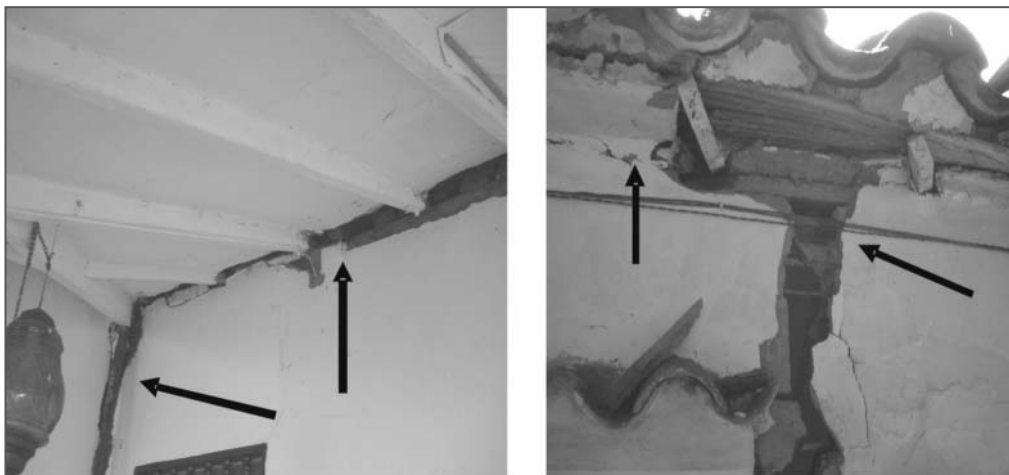
Figura 12. Daños estructurales en muros**Discontinuidad 28-EVTC****Discontinuidades 31-EVTG
y 32-EVTG****Figura 13.** Daños estructurales en techos. Grietas horizontales y verticales, poco tiempo antes del colapso de la estructura**Discontinuidad 28-EVTC****Discontinuidades 31-EVTG
y 32-EVTG**

Figura 14. Daños estructurales en el muro cercano a la vía, en un tiempo 18 meses. Obsérvese el incremento en las dimensiones de las grietas

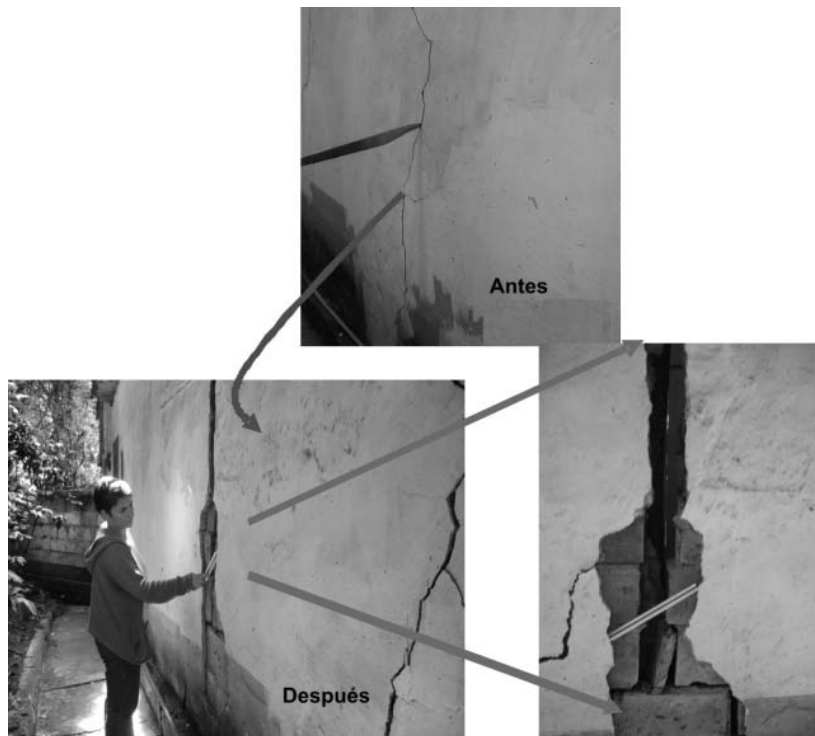


Figura 15. Plano planta alta de la vivienda, ubicación y clasificación de discontinuidades

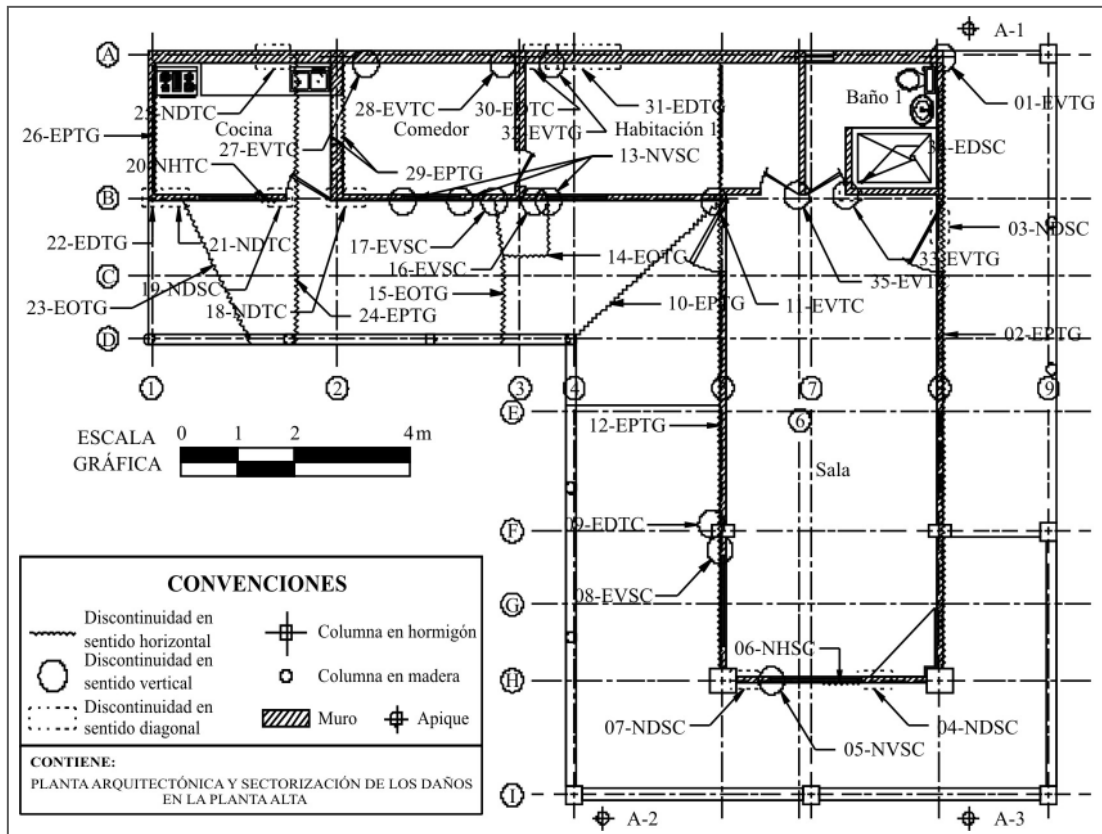
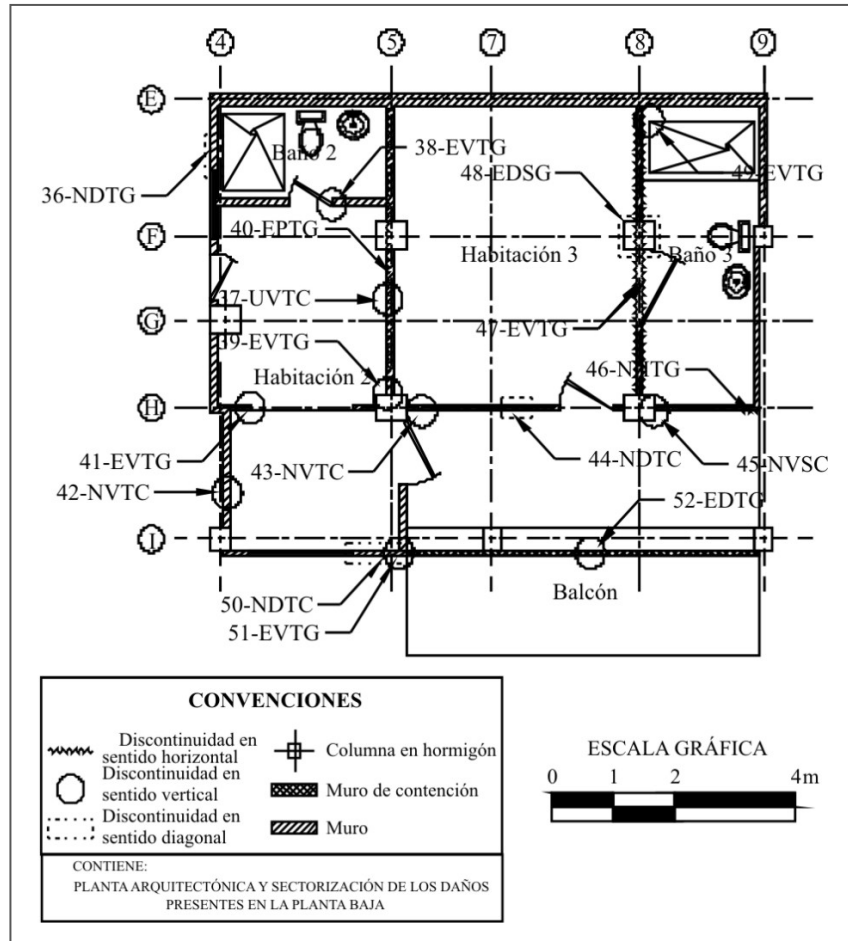


Figura 16. Plano planta baja de la vivienda, ubicación y clasificación de discontinuidades

5.2 Discontinuidades por desconfinamiento o deslizamiento

Este tipo de discontinuidades (figuras 15 y 16), que se presentaron tanto en la parte alta como en la parte baja de la construcción, se midieron y clasificaron de acuerdo con las siguientes características: discontinuidad, tipo de discontinuidad, clase de presión, orientación, causa del movimiento, tipo de daños, ubicación, separación, clasificación de la separación, textura, dirección de propagación, tendencia, probabilidad de aparición y grado de discontinuidad (Audell, 1996; Burland *et al.*, 1977).

En total, entre la parte alta y la parte baja de la construcción, se encontraron 32 discontinuidades, ocasionadas por desconfinamiento, las cuales son daños arquitectónicos, funcionales o estructurales.

5.3 Discontinuidades por asentamiento

Se observaron tanto en la planta alta como en la planta baja (figuras 15 y 16). Se manifestaron, por lo general, en las esquinas de los marcos de las puertas y ventanas, así como en algunas de las juntas de construcción, sobre todo en los lugares donde no existen elementos de amarre o confinamiento de muros.

Al igual que para el deslizamiento, en las de asentamiento se midieron así: discontinuidad, tipo de discontinuidad, clase de presión, orientación, causa del movimiento, tipo de daños, ubicación, separación, clasificación de la separación, textura, dirección de propagación, tendencia, probabilidad de aparición y grado (Audell, 1996; Burland *et al.*, 1977).

En total, entre la parte alta y la parte baja de la construcción, se encontraron 19 discontinuidades, ocasionadas por asentamiento, que

constituyeron daños arquitectónicos, funcionales o estructurales.



Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad EAFIT, por el apoyo a esta investigación, dentro del curso Proyecto de Servicio a la Comunidad, del Departamento de Ingeniería Civil y al Grupo de Geología Ambiental, del Departamento de Geología.

Conclusiones

Los daños más importantes de los muros y pisos de la obra se manifestaron principalmente en las juntas de construcción, sin importar los tipos de materiales que se encontraban en contacto (madera, hormigón y adobes).

Los muros cargueros, los muros de contención y las columnas existentes se hallaron apoyados directamente sobre el suelo, sin ningún elemento estructural que los confinara y/o amarrara de manera que limitara sus desplazamientos; por tanto, los deterioros en los elementos estructurales y no estructurales deben su aparición a la falta de integridad estructural ocasionada por la ausencia de amarres adecuados entre los diferentes elementos que conformaban la cimentación y la estructura.

La tendencia de las discontinuidades generadas por el deslizamiento del terreno tenían una dirección preferencial norte-sur, paralela a la alineación de la sección de la vía Santa Elena, adyacente a la vivienda.

En las discontinuidades generadas por el asentamiento diferencial del terreno, la tendencia no tenía un lineamiento definido y más bien se relacionaba con el sector o sectores deteriorados por el problema anteriormente citado, aunque se percibe que la dirección preferencial de este fenómeno pudo ser este-oeste, conforme con la pendiente de la ladera donde estaba emplazada la estructura.

La superficie de las discontinuidades generadas por el deslizamiento del terreno era, en General, lisa, debido a que se localizaban en las juntas entre piso-muro o entre muro-muro. En las esquinas de los muros del comedor y de la habitación contigua a este, la tendencia estaba entre moderadamente lineal y/o moderadamente circular.

El muro de contención localizado en el eje D, entre ejes 1 y 4 (Figura 15), fue construido en bloques de cemento, sin ningún tipo de diseño geotécnico ni estructural, lo que hace notoria la falta de drenaje detrás del mismo; esto pudo ocasionar incrementos en los empujes, que en algunos casos pudieron ser del orden del 20% del empuje activo.

La matriz que compone el depósito del geomaterial, sobre el cual estaba el nivel de desplante de la fundación de la edificación, se caracteriza porque es del tipo limo de alta compresibilidad (MH); sin embargo, el tamaño y dureza de los fragmentos de roca de anfibolita del depósito aportaban prácticamente la mayoría de la estabilidad que poseía el sistema de fundación.

La ausencia de estudios geotécnicos y diseño estructural, tanto para la construcción inicial como para su posterior ampliación, permite concluir que son la causa principal del deterioro y posterior colapso de la estructura, dado que no se realizó diseño de cimentaciones ni cálculo de asentamientos. Igualmente no se adelantó un estudio sobre la estructura, como se comprueba al observar que faltaban elementos estructurales de amarre y columnas en varios sitios de la casa.

Finalmente, se concluye que la dinámica del movimiento de la casa obedeció, fundamentalmente, a los siguientes factores:

- Falta de estudios geotécnico y estructural en zonas geológicamente inestables.
- Falla regional: la traza se encuentra localizada, aproximadamente, a un kilómetro de la construcción.
- Ausencia de sistemas de drenaje para canalizar aguas de escorrentía en la zona.
- Lavado de la matriz del coluvio, observado en las dos quebradas que limitan con el lote.
- Incremento notorio del tránsito vehicular en la vía aledaña a la vivienda.

Bibliografía

Audell, H. S. (1996). "Geotechnical nomenclature and classification system for crack patterns in buildings", *Journal of environmental and engineering geoscience*, 2 (II). Dana Point, pp. 225-248.

Boone, S. T. (1996). "Ground – Movement – Related Building Damage", *Journal of Geotechnical Engineering*, 11 (122). Mississauga, ASCE, pp. 886-896.

Boscardin, M. D. & E. J. Cording. (1989). "Building Response to Excavation – Induced Settlement", *Journal of Geotechnical Engineering*, 1 (115). ASCE, pp. 1-21.

Bromhead, E. N. (1984). *Ground movements and their effects on structures* [Slopes and embankments (Capítulo 3)]. Londres: Surrey University Press.

Burland, J. B.; Broms, B. B. & De Mello, V. F. B. (1977). "Behavior of foundations and structures: state of the art report".

Proceedings of the 9th International Conference on soil mechanics and foundations engineering, Tokyo: Japanese Geotechnical Society, pp. 495-546.

Colombia, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [ACIS]. (1998). *Normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente*, NSR – 98. Bogotá: ACIS.

Correa, A. M. y U. C. Martens. (2000). *Caracterización geológica de las anfífolitas de los alrededores de Medellín*. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo. Medellín: Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.

Day, R. W. (1998). "Discussion of Ground –Movement– Related Building Damage", *Journal of Geotechnical Engineering*, 5 (124). San Diego: ASCE, pp. 462-465.

_____. (1999). *Forensic geotechnical and foundation engineering*. New York: McGraw-Hill.

_____. (1999). *Geotechnical Engineer's Portable Handbook*. New York: McGraw-Hill.

Feld, J. & K. L. Carper. (1997). *Construction Failure* (2^o Ed). New York: John Wiley and Sons.

Greenspan, H. F.; O'Kon, J. A.; Beasley, K. J. & Ward, J. S. (1989). *Guidelines for failure investigation*. New York: ASCE.

Osorio, R. (2002). *Mecánica de suelos básica*. Medellín: Universidad EAFIT, pp. 67 - 68.

Skempton, A. W. & D. H. Macdonald. (1956). "The Allowable Settlement of Buildings", *The Institution of Civil Engineers*, 5 (III). Londres, pp. 727 – 768.