



INGENIERIA E HIDROSISTEMAS LTDA.

61 E

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS  
ESTUDIOS GEOLOGICO-GEOTECNICOS  
BARRIOS AURORA II Y MARICHUELA  
CONTRATO No. 687/91

INFORME FINAL

Propiedad del Fondo de  
Prevención y Atención de  
Emergencias  
FOPAE

E 31

INGENIEROS CONSULTORES



C O N T E N I D O

	Página
I. INTRODUCCION	1
II. ANTECEDENTES	3
2.1 PLANES URBANISTICOS Y ESTUDIOS INICIALES	3
2.2 ESTUDIOS DE EVALUACION	4
III. ESTUDIOS BASICOS	7
3.1 GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA	7
3.1.1 Condiciones Originales	7
3.1.2 Situación de la Cantera Gravicón	8
3.1.3 Condiciones Impuestas por los Desarrollos Urbanísticos	9
3.2 EVALUACION DE DAÑOS	9
3.2.1 Sistemas de Drenaje	10
3.2.2 Viviendas	11
3.3 CARACTERIZACION GEOTECNICA	14
3.3.1 Programa de Exploración	14
3.3.2 Condiciones de Fundación	15
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20
CUADROS	
FIGURAS	
ANEXOS:	

Ensayos Físico-Químicos  
Anexo Fotográfico

Nº 61 E FOPAE  
A A 18-01-95



INGENIERIA E HIDROSISTEMAS LTDA.

LISTA DE CUADROS

Número

- 1 Inventario de viviendas afectadas
- 2 Resumen resultados ensayos de laboratorio
- 3 Presupuesto áreas planteadas



LISTA DE FIGURAS

Número

- 1 Localización viviendas más afectadas y drenaje natural original
- 2 Registro Apique No. 1
- 3 Registro Apique No. 2
- 4 Registro Apique No. 3
- 5 Registro Apique No. 4
- 6 Registro Apique No. 5
- 7 Registro Barreno Manual No. 6
- 8 Registro Barreno Manual No. 7
- 9 Registro Barreno Manual No. 8
- 10 Guía para Colapsibilidad y Expansión
- 11 Representación gráfica análisis físico-químicos
- 12 Solución Integral - Red de Subdrenes
- 13 Solución Integral - Secciones Transversales Típicas
- 14 Barrio Marichuela zonas de relleno y sistema de drenaje natural



## I. INTRODUCCION

El presente informe contiene la evaluación, análisis y conclusiones del estudio solicitado por la Secretaría de Obras Públicas de Santafé de Bogotá D.C. a Ingeniería e Hidrosistemas IEH Ltda., para tratar de resolver los problemas de inestabilidad que vienen afectando a los barrios Aurora II y Marichuela, ubicados al sur oriente de la ciudad, entre la vía que conduce a Usme y a la autopista al llano, abajo de su intersección.

Como una primera etapa del estudio se realizó la recolección y análisis de información existente (planos topográficos, planos geológicos, fotografías aéreas de distintas épocas, estudios de suelos, informes técnicos sobre evaluaciones de los problemas existentes, visitas y charlas con la comunidad, etc.) que permitiera tener un conocimiento general de la situación y poder dar un enfoque a las investigaciones posteriores del sector. Identificados los problemas que afectan los dos barrios y en vista que los estudios anteriores (descritos más adelante) se circunscribieron a la urbanización Marichuela, se decidió, dirigir los recursos del estudio a investigar y corroborar las causas de los problemas que afectan a la urbanización Aurora II, realizando una comparación válida, ya que el primer nivel de investigación muestra causas de índole muy similar. Como segunda parte, se realizó una inspección a las viviendas afectadas y se ejecutó un programa de exploración mediante apiques y barrenos manuales localizados en inmediaciones de las estructuras más deterioradas o que tenían un mayor historial de afectaciones; en estas exploraciones se recuperaron muestras de los materiales encontrados, así como del agua subsuperficial que se detectó en algunos de los sondeos.



## INGENIERIA E HIDROSISTEMAS LTDA.

Es importante anotar que dentro de las hipótesis iniciales de la Secretaría y los habitantes de la Urbanización, las explotaciones de grava y arena de la cantera GRAVICON, colindante con la Urbanización se consideraban al menos parcialmente responsables de los daños observados en las edificaciones, en tal sentido se adelantaron reconocimientos geológico-geotécnicos que descartan totalmente esta eventualidad, sin desconocer sin embargo que de no adelantarse en forma rápida y oportuna labores de recuperación en las excavaciones, ya abandonadas, se podrían generar problemas adicionales a las edificaciones, eventualmente más críticos.

Procesada la información disponible con respecto de las Urbanizaciones e integrada con los resultados de las exploraciones y caracterización geotécnica y de aguas realizada, en la parte final del estudio se explican las causas de los daños observados, su probable evolución y se plantean alternativas de solución a nivel local, en las casas, y a nivel de sectores de la Urbanización Aurora II; los que en ambos casos se considera no son responsabilidad directa de la Secretaría sino de los contratistas de las obras principalmente, y en algún grado de los habitantes de las viviendas que en algunos casos han desatendido las recomendaciones dadas para la ampliación de sus viviendas y en particular en lo relativo a las instalaciones de agua potable y drenaje a nivel interno.



## II. ANTECEDENTES

### 2.1 PLANES URBANISTICOS Y ESTUDIOS INICIALES

El proyecto Urbanístico de ambas Urbanizaciones, levantado entre 1983 y 1985, contempló la construcción de viviendas de tipo bifamiliar, inicialmente de dos plantas con posibilidades de ampliación futura a tres, y se desarrolló por bloques de unidades residenciales que aprovechan los desniveles que presenta la topografía del terreno, mediante terrazas en corte y/o relleno de acuerdo con el plan de urbanismo, los desarrollos fueron aprobados como Urbanizaciones de normas mínimas.

Los estudios de suelos realizados para los diseños de fundación mostraron la siguiente secuencia promedio de materiales: una cobertura vegetal con espesores aproximados de 0.10 m., seguida por una arcilla color negro (neme) de alta plasticidad y expansiva con espesores hasta de 0.50 m., a continuación arcilla limosa gris carmelita de alta consistencia (en estado de baja humedad), potencialmente expansiva hasta profundidad promedio de 2.50 m., continuando arcilla limosa color habano rojizo de alta consistencia y potencialmente expansiva, hasta la profundidad de 6.0 m. máxima profundidad explorada; en ninguno de los sondeos realizados en las dos Urbanizaciones, Aurora II y Marichuela, se detectó nivel freático. \*

Como resultado de las condiciones geotécnicas encontradas se contemplaron varias alternativas de cimentación superficial, para todas las cuales se recomendaba retirar como mínimo la capa de arcilla negra (neme),



fundando siempre por debajo de ese nivel; y procurando aislar las cimentaciones de los suelos expansivos subyacentes. El proyecto se inició con la construcción de la urbanización Marichuela II y entre el primer y segundo año se empezaron a detectar grietas en los muros de carga, desniveles en los pisos y fugas por roturas en las redes de acueducto y alcantarillado; la firma constructora refaccionó estas viviendas, reconstruyendo algunas y reforzando la cimentación de todas; sin embargo estas afectaciones se siguieron presentando a medida que avanzaba el proyecto y una vez terminado.

## 2.2 ESTUDIOS DE EVALUACION

La situación descrita llevó a los contratistas a solicitar un estudio para evaluar las causas de los daños observados, el cual fue realizado por el Ingeniero Fernando Peláez Arango en 1989 el cual se concentró en el área de la Marichuela y concluía que la causa principal del problema era la presencia de abundante agua en los interiores de las casas a 1.0 m. de profundidad, situación que modificaba de manera notable las condiciones iniciales del terreno y que por las propiedades de las arcillas presentes, ante el aumento de humedad éstas perdieran en alto grado su capacidad de soporte originándose así los asentamientos y agrietamientos de los muros portantes de las viviendas. El origen del agua de acuerdo con este estudio tenía lugar en las fugas de las redes de acueducto y alcantarillado; en la infiltración de aguas lluvias en los patios, zonas verdes y cajas de acometidas en varios casos, como también a los cambios y ampliaciones de las redes internas ejecutadas por los habitantes sin ninguna técnica; como solución se recomendó el drenaje de zonas verdes, la construcción de alcantarillado pluvial y de filtros domiciliarios entre otras. La construcción del drenaje y el alcantarillado fue solicitada a la E.A.A.B. mientras la firma constructora hizo la construcción de algunas filtros conectándolos a la red de alcantarillado de





## INGENIERIA E HIDROSISTEMAS LTDA.

aguas negras y a las vías.

En Febrero de 1990 y en vista de las reclamaciones tanto de la constructora como de los habitantes, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado por medio de la Subgerencia Técnica realizó un estudio en busca de establecer causas y responsabilidades de los daños, llegando a las siguientes conclusiones:

- Descarta de plano que las acumulaciones de agua a nivel de las cimentaciones sea freática, por no haberse detectado en las exploraciones iniciales y en las excavaciones para la escuela.
- Sobre la base de que el porcentaje de infiltración es considerablemente menor a la precipitación ocurrida, como consecuencia de la alta pendiente del terreno, de las pocas zonas verdes y de que el suelo natural expuesto es de muy baja permeabilidad y además por que el sistema de manejo exterior de las aguas lluvias (canaletas que descargan a las vías pavimentadas), provee suficiente capacidad de transporte; no considera de utilidad la implementación de las obras de drenaje recomendadas por el Ing. Peláez Arango, y no considera causa importante de los problemas la falta de sistema de alcantarillado de aguas lluvias, aun cuando reconoce la conveniencia de su construcción.
- Finaliza diciendo que la causa principal del problema se origina en las múltiples fallas de los sistemas de drenaje interno de las viviendas, por deficiencias en sus diseños, por la falta de sistemas de drenaje interno separados, por deficiencias constructivas, por utilización de tuberías de baja especificación técnica y materiales y



## INGENIERIA E HIDROSISTEMAS LTDA.

mezclas inadecuadas, y por deficiencias del sistema estructural y de cimentación, etc.

De acuerdo a lo anterior recomienda que la solución debe encaminarse a resolver las deficiencias enunciadas las cuales no están cobijadas dentro de sus responsabilidades e incluye dentro del programa PAS con el F.F.D.U. la construcción del alcantarillado de aguas lluvias de la urbanización Marichuela y parte de la urbanización Aurora II.

Algunas de las obras recomendadas en los dos estudios mencionados se ejecutaron, como se mencionó anteriormente, sin embargo las afectaciones se siguen presentando actualmente, tanto en nuevas viviendas como en las ya tratadas.

Finalmente cabe destacar en el informe de la E.A.A.B. la inclusión de los resultados en impresiones de una investigación realizada en el sitio por la División de Interventoría de la Secretaría de Obras entre Octubre y Noviembre de 1989, el cual incluye el inventario de las viviendas más deterioradas, así como la caracterización del suelo en dos sitios, y cuyas observaciones respaldan lo observado por la E.A.A.B. en la Marichuela y por el presente estudio en inmediaciones del barrio Aurora II.

### III. ESTUDIOS BASICOS

#### 3.1 GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA

##### 3.1.1 Condiciones Originales

Este estudio se basa en el análisis de la información disponible, planchas geológicas, informes técnicos, fotografías aéreas de diferentes épocas y reconocimientos de campo, fue enfocado a determinar los cambios que desde el punto de vista geomorfológico ha sufrido el sector de interés antes del desarrollo urbanístico, y posteriormente como consecuencia de éste.

Los dos barrios se asientan sobre las terrazas altas que forman los denominados Conos del Tunjuelo, depósitos de limos y arcillas provenientes de las partes altas de la cordillera, los cuales se encuentran disectados por los depósitos de material aluvial que ha acumulado el río Tunjuelito; el estudio de aerofotos de los años setenta muestra que la topografía original presentaba una pendiente suave pero accidentada, con grandes bloques de arenisca en superficie y un drenaje irregular intervenido por las explotaciones de material granular y arcilloso para la industria de la construcción; algunas de estas canteras ya abandonadas entonces y sin ningún proceso de recuperación constituyen focos de erosión al igual que los pequeños cauces los cuales labraban surcos estrechos y profundos dando lugar a una topografía muy irregular y desprovista de toda la cobertura vegetal; particularmente importante para este estudio resulta la presencia en aquella época de cuerpos de agua aparentemente permanentes, así como de pequeños cursos de agua con



las mismas características, insinuando la existencia de un régimen subsuperficial de agua, al menos de carácter local, capaz de alimentarlos y mantenerlos y no obstante que en los sondeos realizados posteriormente no se hubieran registrado niveles de agua. Es importante destacar igualmente que de acuerdo con los estudios de suelos realizados para la construcción, algunas de las depresiones observadas en las fotografías aéreas, ya habían sido rellenados con desechos orgánicos y de construcción y que si bien algunos de estos sitios fueron delimitados no parece haberse adelantado una ubicación detallada de todos estos sitios.

### 3.1.2 Situación de la Cantera Gravicon

Un aspecto muy importante de esta fase del estudio fue evaluar posibles evidencias de inestabilidad en los taludes, de más de 20 m. de altura, de la cantera de arenas y gravas localizada en el costado norte de la Urbanización, efectivamente ni en las fotografías antiguas ni en la condición actual se presentan rasgos o elementos que permitan considerar que los taludes de estas excavaciones hayan estado o estén en condición crítica y menos aún que sean responsables de los daños observados en las Urbanizaciones aledañas; en primera instancia no existen señales de tales como grietas o fisuras en el terreno que permitan delimitar una masa en condición crítica; en segundo lugar, por las características texturales de los materiales éstos en el evento de falla lo harían súbitamente y no con características de un flujo como el que se infiere de la forma relativamente lenta y progresiva como han ocurrido los daños en la Urbanización; no obstante lo anterior es claro que las caras de estos taludes están seriamente afectadas por la erosión, originada principalmente en descargas concentradas de aguas negras y lluvias, que de manera local han dado lugar a sectores de talud vertical en los que se aprecian actualmente algunas grietas y fisuras sin



## INGENIERIA E HIDROSISTEMAS LTDA.

mayor importancia para la Urbanización, pero que de no atenderse oportunamente podrían en el mediano plazo constituirse en una amenaza adicional. En el último capítulo de este informe se reiteran las recomendaciones que en este sentido fueron dadas a la Secretaría de Obras en Julio 16, durante el desarrollo de estos estudios.

### 3.1.3 Condiciones Impuestas por los Desarrollos Urbanísticos

De la conformación actual de las Urbanizaciones, es evidente que la ejecución de cortes y rellenos para conformar el sistema de terrazas se adelantó de manera tal, que eliminó todos los rasgos y elementos del sistema de drenaje superficial y subsuperficial precedente, proceso que ya había sido iniciado con los rellenos de basuras referidos atrás, y como consecuencia de los cuales se cambió el régimen hidrológico e hidrogeológico local; situación que unida a las características geomecánicas de los materiales in-situ, así como de los utilizados en los rellenos, arcillas plásticas y expansivas, permite considerar al cambio en las condiciones morfológicas y topográficas como la primera causa de los problemas que se vienen observando. En la figura No. 1, se muestra la presencia de algunos de estos elementos de drenaje y subdrenaje que fueron interceptados y rellenados por la urbanización Aurora II; mientras en la figura No. 14 y con un menor grado de detalle se ilustra la situación del barrio la Marichuela.

### 3.2 EVALUACION DE DAÑOS

Este programa se adelantó con dos objetivos básicos, a saber: caracterizar y dimensionar la naturaleza de los daños y establecer las áreas de mayor ocurrencia a fin de relacionarlas con condiciones geomorfológicas, geotécnicas o de otra índole, especiales.



### 3.2.1 Sistemas de Drenaje

El sistema de alcantarillado pluvial consiste en una red de canaletas que vá por las vías peatonales y las cuales descargan sobre las vías vehiculares; en el caso del barrio la Aurora II además de descargar en las vías lo hacen a un colector construído recientemente a lo largo de la Calle 91 L-s; la precipitación que cae en los techos y patios de las viviendas es recolectada por el sistema de cañerías interno, y va a la red de alcantarillado de aguas negras, siendo aparente que ninguno de los dos sistemas tiene suficiente capacidad para su evacuación.

En general son muy pocas las canaletas que han sufrido agrietamientos y asentamientos que hagan variar sus pendientes de diseño; la gran mayoría muestran fracturas con aberturas que van desde pocos milímetros a 1.5 cm. las más notorias y en las cuales se aprecian infiltraciones de las aguas recolectadas, y coincidiendo con sectores de mayores deformaciones que acentúan la rotura e inclinación de las losas de los andenes hacia las canaletas (ver fotografía No. 1), fenómeno que se ve acrecentado además por el bajo grado de compactación y calidad de los rellenos; también son afectadas por esta causa las cajas de inspección de aguas negras domiciliarias que se ubican en los andenes frente a cada casa, las cuales deben ser con alguna frecuencia reparadas; ocurriré lo mismo con las cajas de medidores de caudal las cuales en su mayoría están permanentemente inundadas. (Fotografía No. 2).

Coadyuda a el deterioro de las canaletas la falta de mantenimiento y limpieza ya que tanto ellas como las cajas de entrega y sumideros están generalmente llenos de basuras y materiales finos (limos y arenas), colmatándolas y favoreciendo la infiltración. (Ver fotografías Nos. 3 a 5).



### 3.2.2 Viviendas

Con el fin de facilitar la descripción y evaluación de los daños en las viviendas el barrio se dividió en dos zonas (ver figura No. 1); la zona alta, que corresponde a toda el área ubicada al oriente de la Calle 91 G-s constituyó la primera etapa de construcción del barrio Aurora II y cuyo sistema estructural se basa en muros de carga apoyados sobre vigas; la zona baja, localizada al occidente de la mencionada calle, y en la cual las viviendas cuentan con un sistema estructural aporticado que se apoya sobre vigas continuas y/o pantallas corridas y que fue la segunda etapa en el desarrollo del proyecto urbanístico.

Un tipo de afectación común a las dos zonas es el hundimiento de las losas de concreto de los patios posteriores de algunas casas, formando una especie de cazuela con agrietamientos hacia el centro el cual presenta desniveles en algunos casos mayores de 0.30 m. permitiendo gran acumulación de aguas lluvias; los apiques Nos. 1 y 2 (fotografía Nos. 6 y 7) excavados en los patios de algunas casas de la zona baja, en donde se presentan los casos más críticos, permiten observar la deficiente conformación y compactación de los rellenos los cuales aparentemente colapsaron y se asentaron por su propio peso dejando un espacio vacío entre él y la placa en algunos casos mayor de 0.15 cm., fenómeno favorecido además por la infiltración de las aguas acumuladas y las provenientes de la rotura de las cañerías y sifones de los lavaderos. Algunos de los usuarios manifestaron haber detectado la presencia de vacíos como los descritos debajo de las losas de los pisos interiores y de los andenes, algunos de los cuales pudieron verificarse. No obstante lo anterior, no se observaron mayores asentamientos en los pisos internos de las casas, aun cuando en su gran mayoría muestran un sistema perpendicular de



grietas incipiente, el cual puede deberse a la falta de juntas de dilatación de la losa; en la zona baja sin embargo se observaron dos casos en los cuales se presenta una grieta bien definida que parte del antepecho en el muro de fachada prologándose por el piso de la sala comedor hasta la cocina donde se pierde sin tener continuidad en el patio, esta grieta coincide con la dirección de la conducción de salida de las cañerías de aguas negras. (Ver fotografía Nos. 8 y 9).

La mayor afectación que se observa en casi el 60% de las viviendas del sector bajo y en menor proporción en el sector alto, es una grieta vertical que aparece en la fachada a nivel de la caja de contadores de la luz y sube hasta los pisos superiores siguiendo un alineamiento paralelo a la junta de construcción entre casas contiguas (fotografía No. 10) y en coincidencia con la localización de la escalera a la segunda planta; su abertura va desde incipiente a 1.5 cm. en algunas viviendas, tendiendo a inclinarse y abrirse más a medida que se acerca a la placa del tercer piso. En las casas donde esta grieta presenta las mayores aberturas se observó igualmente agrietamiento incipiente en la junta de los muros cargueros con los divisorios presentándose dificultad al cerrar y abrir las puertas y ventanas; en algunas viviendas que se encuentran en zonas de relleno se observó además rotura de cañerías y desconexión de la bajante de aguas negras que viene de los pisos superiores, a nivel del primer piso.

De acuerdo con los usuarios en el sector alto, cerca de un 20% de las viviendas se vieron afectadas por hundimientos de pisos y de toda la edificación en general, acompañados de agrietamientos severos en muros y placas, e incluso de cabeceo de viviendas contiguas (ver fotografía No. 11), varias de estas viviendas fueron demolidas y reconstruidas reforzando la cimentación con muros pantalla y dados profundos; las otras fueron recalzadas





## INGENIERIA E HIDROSISTEMAS LTDA.

con el mismo sistema; durante las excavaciones de reparación se detectó gran cantidad de agua. Todas estas viviendas en la actualidad siguen presentando afectaciones, principalmente de fuertes agrietamientos en los muros de fachada, los muros laterales de los patios y los antepechos de las ventanas; generalmente estas grietas tienen una inclinación de  $45^{\circ}$ , indicando grandes esfuerzos de corte generados por asentamientos diferenciales importantes. (Ver fotografías Nos. 12 a 14). Dos destapes realizados en estos sitios, a los cuales no se les hizo registro por tener como objetivo observar el tipo de estado de cimentaciones, mostraron una viga de solo 0.25 m. de altura, sobre la cual se colocaron tres hiladas de ladrillo calicanto como sobrecimiento; esta estructura descansa en una capa de recebo de 8.0 cm. de espesor colocado sobre la capa de arcilla color negro (neme) que de acuerdo con los estudios de suelos iniciales debió ser retirada totalmente, por sus propiedades expansivas y plásticas; igualmente notorio en estos destapes fue el alto contenido de humedad de los materiales. Del inventario practicado en las viviendas resulta evidente que el sistema estructural aporticado y de cimentaciones semiprofundas, con pantallas y/o dados, utilizado en el sector bajo ha sido determinante en el menor deterioro y severidad de los daños allí registrado. Se hace notar igualmente la coincidencia que presenta el sector de casas mayormente afectadas, carrera 31 E, con el alineamiento de uno de los drenajes que antiguamente surcaban la zona, ver figura No. 1, en la cual el proyecto urbanístico general se ha superpuesto a la cartografía original. (Ver figura No. 1).

De otra parte la escuela que se localiza sobre la zona de relleno sanitario, que fue excluida expresamente como área para desarrollo urbanístico, sufre agrietamientos severos con aberturas hasta de 2.0 cm. en las juntas de los muros y placas (ver fotografía No. 15); así mismo las viviendas aledañas a este sector se ven afectadas por emanaciones y



## INGENIERIA E HIDROSISTEMAS LTDA.

explosiones de gas, además de daños como los ya indicados.

El sector del barrio que se ubica más al nor-occidente abajo de la calle 91 L Sur, no presenta en general daños como los anteriormente descritos en las viviendas, solo la casa No. 16 de la manzana No. 13 presenta agrietamientos en los muros del patio, causados por el asentamiento de la losa de concreto, probablemente originados en fenómenos similares a los descritos.

En el cuadro No. 1 se muestra el inventario de las viviendas más afectadas.

### 3.3 CARACTERIZACION GEOTECNICA

#### 3.3.1 Programa de Exploración

Una vez realizado el inventario de daños se planificó y ejecutó un programa de exploración del subsuelo con base en apiques y barrenos manuales con profundidades entre 1.0 y 3.70 m., (ver fotografías 6, 7, 16 a 21) cuya ubicación se muestra en la figura No. 1, con el fin de determinar y comprobar las características geomecánicas de los materiales y apreciar el tipo de cimentación empleado en las viviendas que han sufrido mayor deterioro; en estas exploraciones se extrajeron muestras alteradas en bolsa e inalteradas en bloques y tubos de pared delgada para la determinación de sus propiedades mediante ensayos de clasificación (granulometría, límites de Atterberg, humedad natural), peso unitario, Pin Hole y expansión controlada, estos dos últimos con el fin de determinar su grado de dispersividad, deformabilidad y erodabilidad; se realizaron también pruebas directas in-situ de S.P.T. y penetrómetro para conocer su resistencia; adicionalmente se tomaron muestras de agua del apique No. 1 y del barreno No. 6, únicos sitios



de exploración en donde se detectó como también de las casas vecinas y del fondo de la cantera con el fin de hacer algunas evaluaciones para determinar su procedencia. El resumen de resultados de las pruebas de laboratorio se muestran en el cuadro No. 2 y los registros de los apiques y barrenos se presentan en las figuras Nos. 2 a 9.

### 3.3.2 Condiciones de Fundación

#### 3.3.2.1 Perfil Encontrado

En casi todos los sitios explorados se encontró el siguiente perfil característico:

- Un relleno de materiales no clasificados de espesor variable entre 1.0 y 2.20 m., conformado por materiales de excavación, basuras y desechos de construcción.

Geotécnicamente clasifican como arcillas de baja plasticidad (CL) y arenas arcillosas (SC).

Su bajo grado de compactación se hizo evidente durante la exploración y se deduce de sus contenidos de humedad por encima de sus límites plásticos.

- En los sondeos 5 y 6, se detectó la capa de arcilla negra (neme) expansiva, de mediana a alta plasticidad, localmente muy húmeda.
- Por debajo de las capas referidas se registró la secuencia típica observada en los estudios anteriores, esto es: arcillas amarillas y

rojizas, plásticas y potencialmente expansivas. Se destaca que las condiciones de humedad registradas en estos niveles son en apariencia las mismas registradas en los estudios iniciales para la Urbanización.

Dentro de la secuencia arcillosa, incluida la capa de neme y a relativamente poca profundidad debe destacarse la presencia local de lentes de textura arenosa, aparentemente portadores de agua, que también fueron registrados en los estudios originales y que bien podrían explicar los cuerpos y cursos de agua descritos en el numeral 3.1.1.

### 3.3.2.2 Expansión, Dispersión y Colapso

En los estudios para la Urbanización la presencia de arcillas expansivas se estableció de manera cualitativa, sin una cuantificación específica de su magnitud; por esta razón en esta oportunidad se estimó necesario adelantar pruebas de expansión controladas las cuales permiten conocer el nivel de esfuerzos que deben actuar sobre el material para impedir su expansión, en el evento de ser expuestos a cambios de humedad, como se aprecia en el cuadro No. 2, las presiones de expansión medidas superan en casi todos los casos los niveles de esfuerzo a que se encuentran actualmente. Es importante llamar la atención sobre las muestras AP 5-2 y BM 8-1, materiales idénticos en su apariencia física y propiedades índice, sin embargo el primero con su potencial expansivo aún y el segundo aparentemente ya desarrollado como se deduce de los índices de consistencia y presiones de expansión, reflejando ésto la manera localizada y puntual como puede



manifestarse el fenómeno.

Teniendo en cuenta la naturaleza de los daños observados caracterizados por un marcado componente de asentamiento y considerando que por los niveles de esfuerzo transmitidos por las fundaciones y las condiciones de sobreconsolidación de los suelos estos fenómenos no son explicables, se contempló la posibilidad de problemas de colapso asociados al potencial dispersivo de las arcillas; en consecuencia se adelantaron pruebas de Pin hole sobre muestras representativas las cuales clasificaron como no dispersivas y medianamente dispersivas de acuerdo con los criterios de Sherard, 1976, en consecuencia no resulta aparente que los fenómenos de dispersión hayan jugado un papel importante en los problemas detectados.

Evaluados los potenciales de expansión y dispersividad, el único elemento faltante era analizar el potencial de colapso de los rellenos, problema bastante difícil si se tiene en cuenta que los materiales que se muestrearon ya habrían experimentado el fenómeno como se confirma por las condiciones de los sitios, no obstante lo anterior y recurriendo a las curvas guías propuestas por Mitchell y Gardner, 1975, para evaluar el potencial expansivo, de compresión y colapso de suelos arcillosos, ver figura No. 10, se procuró visualizar que tal fenómeno hubiese ocurrido; como puede apreciarse por un lado para los materiales In-situ el potencial expansivo es claramente señalado, entre tanto el potencial de colapso en los rellenos no se visualizó tan claramente por no disponerse de información con relación a su condición original, sin embargo la cercanía de los datos de la condición actual (post-colapso, teniendo en cuenta los asentamientos y vacíos observados en campo) a las curvas que separan las fenomenologías analizadas parecen insinuar la ocurrencia del colapso en los rellenos como consecuencia de su humedecimiento y saturación.



### 3.3.2.3 Análisis Físico-Químicos de las Aguas

Teniendo en cuenta que en los estudios originales la presencia de agua freática no fue detectada sino en una ocasión y relativamente profunda, y que en los estudios recientes en la Urbanización Marichuela y en el presente en la Urbanización Aurora los materiales se encontraron muy saturados e incluso se registraron niveles de agua muy superficiales, sondeos 1 y 6, se estimó necesario hacer algún tipo de evaluación sobre el origen y procedencia del agua tomando agua del suelo, así como de las tuberías de acueducto en las casas vecinas; cabe agregar que la naturaleza de las aguas encontradas en el suelo permiten descartar de plano su origen en fugas del sistema de alcantarillado.

Las muestras recuperadas se sometieron a análisis físico-químicos, cuyos resultados se incluyen al final de este informe y cuya representación gráfica se muestra en la figura No. 11, destacándose los siguientes aspectos:

- La homogeneidad de las muestras 1 y 3 tomadas en los sistemas de conducción de acueducto y que difieren de manera radical de las demás.
- Las muestras 4 y 5, tienen características que señalan un largo recorrido a través del suelo y/o un amplio tiempo de residencia en el subsuelo a juzgar por el alto contenido de cloruros (CL) y de bicarbonados ( $\text{CO}_3$ ) y parcialmente por el contenido de carbonatos (Ca), lo cual indicaría una procedencia diferente a la red de acueducto; no obstante que las fugas de ésta son evidentes en forma local como se observó en el apique No. 1, ver fotografía

No. 6.

- La muestra No. 2 tiene características químicas similares a las dos anteriores, aunque con menores concentraciones de los elementos analizados lo que podría sugerir mezcla con agua proveniente del acueducto; cabe anotar que durante la ejecución del barreno se detectaron fugas en la red externa.
- La alta concentración de sulfatos ( $SO_4$ ) en la muestra 5, tomada en el fondo de la cantera, indica contaminación humana, lo cual se explica por el desague de aguas negras sobre el talud sureste de la excavación, y por las basuras que se arrojan desde sus coronas. Ver figura No. 22.

El no haber encontrado agua libre en los demás sitios explorados es indicativo que no se trata de un nivel freático alto generalizado sino de niveles o bolsas permitidas por la gran permeabilidad de los materiales del subsuelo en estos sectores; en el barreno No. 6 se encontró a esa profundidad un lente arenoso y en el AP-1 el material de relleno por sus características poco homogéneas y de alta porosidad facilita su presencia. Al parecer la procedencia de las aguas subsuperficiales tiene mucho que ver con los drenajes y cuerpos de agua existentes antes de la Urbanización que como se puede observar en la figura No. 1 coinciden con las áreas de mayor afectación del barrio y con las que se infiltran en zonas más alejadas y altas, que una vez en el subsuelo fluyen por sectores de más alta permeabilidad y facilidad de flujo como la de los drenajes antiguos. Sin embargo esta última posibilidad debe ser más investigada mediante estudios hidrogeológicos más profundos no contemplados dentro de los alcances del presente trabajo.



#### IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Como se manifestó a la dirección técnica de la S.O.P. en Julio 16/92 después de realizadas las evaluaciones iniciales, las cuales se ratifican con los resultados de las labores de investigación realizadas y los análisis presentados en los capítulos anteriores de este informe, no existen razones técnicas para atribuir los daños actuales de la Urbanizaciones Aurora II y Marichuela a las actividades de explotación de la cantera Gravicón. Sin embargo y a la mayor brevedad posible se deben iniciar acciones de control y recuperación de los taludes de las excavaciones para eliminar el riesgo potencial que ellas representan en el mediano plazo por el estado de abandono y las actividades desfavorables que las comunidades del barrio y vecinas a ella vienen realizando como son la depositación de basuras, escombros de construcción y tierras en forma inadecuada, incrementando la erosión y el riesgo de inestabilidad del talud sureste; (ver fotografía No. 22), en tal sentido se recomienda adelantar las siguientes acciones:
  - a. Impedir la disposición de materiales y basuras en la forma como se viene ejecutando y remover los rellenos colocados en la parte alta del corte sureste hasta quedar a nivel de la Calle 91 L Sur, descargando de esta forma la corona del corte.
  - b. Insistir ante la F.A.A.B. sobre la urgencia de la construcción de las obras de alcantarillado pluvial contempladas dentro del programa P.A.S. para esta Urbanización, en especial el colector de la calle 91





L Sur, con el fin de garantizar plenamente la intercepción de las aguas que tienden a fluir hacia el talud sureste.

c. Solicitar al dueño de la cantera un plan de recuperación que contemple como mínimo su relleno de abajo hacia arriba con materiales en lo posible no bio-degradables, drenaje previo del fondo de la excavación y recomendaciones de disposición y compactación controladas de acuerdo al uso futuro del terreno.

2. Los daños que se han venido presentando y todavía presentan las viviendas de la Urbanización Aurora II y por similitud de condiciones las de la Ubanización Marichuela son el resultado de una superposición de condiciones desfavorables que en orden de importancia se califica como se enuncia a continuación:

- Planeamiento urbanístico desconociendo las características geomorfológicas, hidrológicas e hidrogeológicas de las áreas interesadas, anulando los cauces naturales, relleno de los cuerpos de agua y en general suprimiendo todos los elementos del drenaje superficial y subsuperficial; más aun destruyendo este último con la colocación de rellenos semi-impermeables e impermeables favoreciendo el fenómeno de "acumulación de agua" con sus consecuencias desfavorables sobre los suelos in-situ y los rellenos, constituidos por materiales altamente susceptibles a los cambios de humedad.

- Aparente descuido en el cumplimiento de las recomendaciones dadas en los estudios de suelos iniciales de ambas Urbanizaciones en cuanto a la calidad y grados de compactación de los rellenos, lo que



aparentemente provocó su colapso al humedecerse por los flujos subsuperficiales naturales y las aguas infiltradas de los sistemas de acueducto y alcantarillado incumplimiento, al menos localmente, de la especificación de remover totalmente la capa de arcilla negra expansiva y de colocar un espesor de recebo mínimo entre los elementos de cimentación y el suelo de fundación.

- La naturaleza expansiva de los materiales que conformaban el área, lo cual exigía un mayor cuidado en los trabajos de adecuación y manejo de tierras. Tal como se planteaba en los estudios de suelos originales.
- Las tres circunstancias anteriores explican igualmente porque los daños en las Urbanizaciones no son generalizados, sino que por el contrario se concentran en sitios específicos principalmente asociados a rellenos localizados sobre antiguos elementos del drenaje natural y/o en sectores donde aparentemente los procedimientos constructivos y soluciones de cimentación no se ejecutaron con los debidos controles y previsiones.
- Casos aparte de las condiciones descritas, los constituyen el de algunas edificaciones de uso comunal, aparentemente levantadas posteriormente a la construcción de las viviendas en áreas o zonas verdes comunitarias, cuya delimitación original obedeció precisamente a la mala condición geotécnica de los terrenos, tal como sucede en la escuela del barrio Aurora II, problema que indudablemente obliga al estudio de una solución específica y particularizada; así como a las instalaciones del cuerpo de bomberos en el barrio la Marichuela e incluso en algunas estructuras que hacen parte del colegio de



bachillerato allí localizado.

- En términos generales la solución de los problemas que presentan las viviendas demandaran de acciones individuales en cada una de ellas, mediante recalces de sus cimentaciones, reconformación de rellenos en algunos sitios como los patios posteriores entre los más importantes, acciones que evidentemente están por fuera del resorte del SOP.
3. De lo anterior se deduce que la falta del acueducto pluvial no es la causa principal de los problemas de estabilidad de las Urbanizaciones y que su construcción, si bien conveniente, no constituye una solución ya que ésta solo mejoraría las condiciones de captación de la escorrentía superficial producto de la precipitación, sin controlar las infiltraciones que por rotura de las conducciones de alcantarillado y acueducto a nivel interno y externo y del agrietamiento de patios y de andenes se vienen presentando; y mucho menos a disminuir y controlar las tablas y flujos de agua subsuperficiales, que aparentemente se presentan por debajo de los niveles de cimentación.
  4. Aun cuando en las condiciones descritas la formulación de alternativas de solución de carácter general resultan cuestionables; en el caso particular de la Aurora II y teniendo en cuenta que en estas viviendas se recalzaron las fundaciones de las más deterioradas e incluso se cambiaron en algunos sectores los sistemas de cimentación mejorando con ello el comportamiento de las estructuras, una medida adicional de carácter más amplio debería orientarse a controlar los flujos de agua subsuperficiales, naturales y por fugas, a fin de impedir la acumulación de agua debajo de las cimentaciones y de esta manera estabilizar las condiciones de humedad de los suelos naturales y rellenos; ésto se



## INGENIERIA E HIDROSISTEMAS LTDA.

podría alcanzar mediante la construcción de una red de drenaje subsuperficial a base de zanjas y tuberías de drenaje, localizadas estas últimas por lo menos 1.0 m. por debajo de los niveles de cimentación; sistema que naturalmente deberá ser independiente de los sistemas de alcantarillado, aun cuando deberá hacer uso de éstos para sus entregas finales. Cabe agregar que puesto que los alcantarillados pluviales propuestos para las Urbanizaciones en cuestión por el programa P.A.S. no han sido construídos, los sistemas de drenaje planteados podrían incluirse en estos planes.

Conceptualmente, una solución como la planteada podría contemplarse igualmente para el barrio la Marichuela, sin embargo si se tiene en cuenta que allí las fundaciones no han sido recalzadas sino en casos muy puntuales, existe un gran riesgo de que las obras de drenaje subsuperficial al acelerar el asentamiento de las áreas de relleno puedan provocar un mayor deterioro en las estructuras, por lo tanto se considera que en este barrio las obras deben concentrarse en el recalce de las cimentaciones y posteriormente contemplar medidas de subdrenaje.

5. En la figura No. 2 se esquematiza el plan propuesto para la Urbanización Aurora II y en la figura 13 se muestran los detalles de la instalación. El sistema contempla dos drenes colectores principales en el sentido de la Carrera 31 E, en 6 plg. de diámetro y drenes secundarios perpendiculares a los principales siguiendo los alineamientos de algunas de las vías, el diámetro de éstos sería de 4 plg., los drenes principales entregarían al pozo No. 30 del sistema de alcantarillado pluvial, localizado sobre la Calle 91 K-S; en el sector nor-oriental de la Urbanización los drenes siguiendo el alineamiento de las carreras y