



## **LOTES URBANOS: HACERLOS PARA DESARROLLARLOS. UNA EXPERIENCIA EXITOSA**

*Urban lots: make them to develop them. A successful experience.*

Juan Fernando Betancur Jiménez\*

---

\* Ingeniero Civil de la Universidad Eafit, Medellín (Colombia). Director técnico y socio de O. K. INMOBILIARIA S. A. S., Medellín. Coordinador del comité costos CAMACOL Antioquia. Socio de la Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos SAI. Miembro del grupo de investigación para la industria de la construcción GESCON, de la Universidad Eafit.



## **SINTESIS**

Ante la presión urbanística, producto de la demanda de vivienda urbana y la presión económica de la actividad edificadora, se hace necesario habilitar globos de tierra que en oportunidades anteriores no eran atractivos por razones de diversa índole, entre ellas, limitaciones legales, normativas o técnicas; por tanto, la óptica para evaluar los proyectos debe reconsiderarse para calificar la habilidad de los lotes. En este texto se hacen algunas consideraciones al respecto y se ilustra el caso de un lote de 70.000 m<sup>2</sup> ubicado en zona urbana al sur del Valle de Aburrá con serias limitantes para ser desarrollado debido a restricciones geotécnicas asociadas a las altas pendientes y presencia de aguas subsuperficiales; se ilustra como mediante la convergencia de tecnologías apropiadas provenientes de diversas disciplinas, como la geología minera, la geotecnia y la arquitectura se logró habilitar exitosamente el lote para el uso urbanístico.

## **DESCRIPTORES:**

Lotes urbanos, tecnologías de construcción, geotecnia, sistemas de drenaje.

## **ABSTRACT**

Due to the city-planning pressure, product of the demand of urban housing and the economic pressure of the building activity, it becomes necessary to qualify lands that in previous opportunities were not attractive for diverse reasons, among them, legal, normative or technical limitations. Therefore, the optics to evaluate the projects must be reconsidered to qualify the viability of the lots. In this text some considerations are made on the matter and a case of a 70,000m<sup>2</sup> lot located in the urban zone, south of the Valley of Aburrá is illustrated with serious obstacles to be developed due to geotechnical restrictions associated to high slopes and subsuperficial water presence. Also, it's demonstrated how by the convergence of appropriate technologies from diverse disciplines, like mining, geology, geotechnology and architecture was managed to successfully qualify the lot for city-planning use.

## **DESCRIPTORS:**

Urban lots, construction technology, geotechnical, drainage systems.



## LOTES URBANOS: HACERLOS PARA DESARROLLARLOS. UNA EXPERIENCIA EXITOSA

*Para citar este artículo: Betancur J., Juan F. (2010). "Lotes urbanos: hacerlos para desarrollarlos. Una experiencia exitosa". En: Revista Académica e Institucional, Páginas de la UCPR N° 88, p. 79-89.*

*Primera versión recibida: 21 de octubre de 2010. Versión final aprobada el 25 de noviembre de 2010.*

### La evolución en la disponibilidad de lotes

La actividad edificadora en muchas zonas del país se ha visto limitada no solo por los innumerables factores que inciden en la industria de la construcción, sino también por la escasez de material de lotes y las limitaciones que en materia normativa, técnica o legal pueden presentar.

Lo antes mencionado obliga a que el gremio inmobiliario y constructor, agote muchas opciones para remover las limitaciones que afectan los bancos de tierra urbana desarrollable.

Las razones de esta afirmación tienen que ver con la subsistencia de la industria como actividad económica, al mismo tiempo que como una necesidad social de las comunidades urbanas.

En épocas anteriores (años 80's), la gestión de proyectos en su etapa decisoria estaba relacionada con aspectos de tipo técnico (léase constructivo); posteriormente, el tema evolucionó y el manejo administrativo resultó siendo la gestión que garantizaba el éxito (antes de los 90's). Sin embargo, el desarrollo y crecimiento del país y las coyunturas económicas y financieras obligaron a una reingeniería de la actividad edificadora y los proyectos garantizaban un éxito solo con el cumplimiento de las metas comerciales; por ello, se impuso el esquema de preventas de las unidades inmobiliarias (posterior a la crisis del año 1999); hoy, las condiciones de mercado y la capacidad adquisitiva de la demanda requieren que la gestión técnica, normativa, financiera, legal y comercial, coincidan y generen éxito.

### Las limitaciones en el desarrollo de proyectos

Remover las limitaciones que puedan tener los lotes en estudio resulta una labor que todos los días requerirá mayor gestión, evaluación y creatividad por parte de los actores; para ello, se mencionarán los aspectos más relevantes:

### • Limitaciones de tipo legal:

Resulta particular que la tradición de muchos globos de tierra genere limitaciones tan frecuentes; una posible causa obedece a la informalidad y a la evolución de un país rural que generó los títulos de propiedad, los alinderamientos, las áreas, etc., de una manera poco precisa y con falta de claridad notarial; además, la subdivisión hereditaria casi informal agrava la situación en el momento de poner de acuerdo a los herederos o a sus sucesores para enajenar los predios.

La incipiente formación catastral de muchos municipios o la de aquellos que vienen adelantándola, suelen arrojar resultados desligados de la realidad, lo que obliga a realizar trámites tortuosos y no pocas veces decepcionantes en materia de áreas o definición de linderos.

La complejidad en cuanto a la tradición y legalidad en la adquisición de algunas tierras en nuestro país afecta lotes que, por su ubicación o extensión, son estratégicos en el desarrollo inmobiliario o de infraestructura urbana.

### • Limitaciones de tipo normativo:

Las políticas en el desarrollo de las municipalidades y sus Planes de Ordenamiento Territorial (Decreto 388 de 1997) son el organismo rector para definir un norte claro en el crecimiento de ciudad y el uso adecuado, racional y equilibrado del territorio; no obstante, ellas no pueden ir desligadas de una realidad en cuanto a la infraestructura para el desarrollo; por ello, resulta indispensable generar conciencia en cuanto a que las limitaciones de crecimiento no deben ligarse a la falta de disponibilidad de infraestructura actual, sino a las verdaderas razones naturales o de sostenibilidad del entorno. De esta manera, si bien es cierto que algunos territorios tendrán limitaciones, ello de por sí puede ser un condicionante, pero no limitante, para el desarrollo de su potencialidad; así, el avance en los procesos de urbanización irá



removiendo estas restricciones pasajeras y permitirá que las necesidades y la evolución en la demanda sean las verdaderas impulsoras de los usos de las tierras. Para el efecto, podría mencionarse el siguiente caso:

Si por políticas gubernamentales, por disponibilidad o simplemente por razones de demanda, se resuelve promover un megaproyecto en una determinada zona de la municipalidad ubicada en los límites del perímetro urbano, y para ello se unen los esfuerzos y políticas de la entidades municipales, nacionales, de las cajas de compensación y de los privados; y el proyecto resulta siendo de tal éxito que la zona se convierte en un gran polo de desarrollo (casi una ciudadela), y por ello las inversiones municipales dotan la zona de movilidad, redes, centros de salud, escuelas, es decir, de toda una infraestructura urbana que podría atender esa demanda actual y una eventual demanda futura; en tal caso postulado, ¿Sería lógico sub-utilizarla en el evento en que el territorio urbano se agote y no se explote toda esa infraestructura que estaría habilitada para atender, como ninguna, otra zona de la ciudad?. Cabría otra pregunta: ¿es lógico que sean esas normas las que lo limiten a pesar de que el desarrollo removió las restricciones que existían en el momento de redactarlas? Sería más razonable pensar que, atendidas las necesidades de crecimiento, sea la realidad actual la que defina la vocación y el crecimiento del entorno sin ir en contravía de la premisa básica: sostenibilidad.

#### • Limitaciones de tipo técnico:

Podrían ser las condiciones más evidentes en el proceso de inspección y evaluación de terreno y del proyecto en general, más aún hoy que solo quedan los lotes que han venido siendo descartados a través de los años; asumiendo que es así puede procederse a hacer una somera descripción:

Gran parte del territorio colombiano se encuentra ubicado en la región andina, lo que genera la característica que con más frecuencia condiciona la ejecución de la construcción: laderas y taludes. Es de vital importancia tener en cuenta que las laderas con pendientes importantes obligan a la ejecución de movimientos de tierra considerables para permitir la accesibilidad y la implantación o asentamiento de las edificaciones, lo que desde el punto de vista económico y de seguridad resulta tremendamente condicionante.

Formaciones geológicas y calidades de suelo pobre condicionan los tipos de cimentación, en donde ya no solo la técnica (vista como el conjunto de habilidades y conocimientos aplicados para resolver problemas

prácticos) sino la tecnología (conocimientos de base científica que permiten describir, diseñar, y aplicar soluciones técnicas a problemas prácticos) son necesarios para obtener soluciones efectivas de manera eficiente.

Obras de infraestructura para permitir la accesibilidad vial, de servicios públicos y dotación urbana: Como es lógico, al escasear la tierra urbanizada muchos procesos de edificación deben realizarse en la periferia, obligando con ello a la expansión de la infraestructura urbana y la trama vial, y ello no puede desligarse de los futuros crecimientos; por tanto, el primer urbanizador coloniza la zona y prepara el terreno para sus sucesores, lo que obliga al primero a asumir las enormes cargas que conlleva el desarrollo de nuevos polos; no obstante, es importante hacer claridad en que algunas entidades gubernamentales o prestadoras de servicio han sido consecuentes con esta condición y reconocen al urbanizador parte de la inversión que posteriormente será explotada por ellos o por terceros. Igualmente, la figura de los planes parciales, nacida en el decreto 388 de 1997 (Planes de Ordenamiento Territorial P.O.T.), facilita el planeamiento particular de determinadas áreas de suelo urbano o de expansión con propuestas desarrolladas por los mismos promotores y permite englobar diversos predios generando desarrollos que posibilitan inversiones de la envergadura mencionada.

Así las cosas, y con las condiciones someramente descritas anteriormente, la gestión inmobiliaria de hoy tiene en su día a día el enorme reto de remover las múltiples condiciones restrictivas con una mejor gestión en términos de tiempo e inversión, pues el consumidor final, quién sufragará estos costos de tiempo y dinero, presenta limitantes en su capacidad económica.

#### A manera de ejemplo: una experiencia exitosa

Se describe a continuación el caso de un proyecto ubicado al sur del Valle de Aburrá, actualmente en ejecución exitosa, y que en su momento fue catalogado como un excelente lote, pero con limitantes de tal magnitud que fue descartado por el gremio durante muchos años.

#### • Antecedentes:

El lote de 70.000 m<sup>2</sup> ubicado en zona urbana, de pendiente media a alta, había sufrido en los años 1920 y 1940 movimientos de masa y flujos de lodo, causados por razones desconocidas y difíciles de precisar, generando en su topografía escarpes importantes y depósitos de lodo en espesores variables de muy baja capacidad de soporte; no obstante, la ubicación privilegiada, su entorno y la



necesidad de tierra urbanizable en el sector, hizo que el lote fuera estudiado por varias empresas constructoras y consultoras sin resultados positivos.

En los años 2004 y 2005 el lote fue evaluado por una compañía constructora y en ese proceso se interpuso una opción de compra de la municipalidad para destinarlo como parque; esta opción no prosperó y finalmente el lote fue retomado en estudio.

El proceso de evaluación fue largo y profundo. Para el efecto, se contrató una firma que en años anteriores había realizado para la municipalidad un estudio de zonificación y evaluación de vulnerabilidad desde el punto de vista geológico-geotécnico de la zona urbana. En tal estudio, el lote en cuestión aparecía catalogado como zona de riesgo medio a alto y restringido para su desarrollo. Por ello, para habilitarlo era necesario profundizar los estudios y realizar una “exhaustiva campaña de exploración, análisis de laboratorio y modelamiento ingenieril” (Solingral, 2007), de tal manera que definiera la aptitud geológica para el uso del suelo definiendo zonas estables, inestables recuperables y no recuperables, y diagnosticara las acciones a emprender para habilitar el uso en las recuperables y estabilizar la no utilizables.

El lote se ubica en una ladera con pendientes altas a medias y alargados desde la montaña hacia una corriente de agua que corre paralela a la cordillera. En la zona aledaña a la fuente de agua el lote es plano y fue utilizado por largos años como cancha de fútbol de una empresa asentada en la zona; esta zona se desarrolló en primera etapa mientras se perfeccionaban los diseños de las estructuras tendientes a garantizar de manera definitiva el resto de la propiedad.

Debido a que el lote se encontraba rodeado de desarrollos urbanísticos, la vecindad siempre creyó tener en él un pulmón o un parque público, lo que generó grandes debates al iniciar la construcción; todo ello a pesar de tener la licencia ambiental y de construcción; sin embargo, los constructores y las entidades municipales en aras de evitar conflictos, resolvieron tramitar ante el Concejo Municipal un acuerdo que permitiera una menor ocupación liberando la altura y manteniendo la densidad del lote; de esta manera, una parte importante del predio mantendría la zona arbórea intacta. No obstante la buena voluntad de las partes, este proceso generó retrasos cercanos a los 2 años en el inicio de construcción, lo que hizo obligatoria una reestructuración financiera de la sociedad promotora; a pesar de ello, el proyecto inició construcción a inicios del año 2009.

Retomando el tema geotécnico, se presenta a continuación el proceso de estudio, las conclusiones, recomendaciones y finalmente, el proceso de ejecución.

#### • El proceso de estudio:

El proceso de exploración y estudio abarcó una zona mucho más amplia que el lote mismo, pues se pretendía en primera instancia absolver las incógnitas cerca del movimiento de masas ocurrido en el siglo anterior, causas que en el estudio preliminar no encontraban sus orígenes en el mismo predio, pues el volumen y la distancia recorrida por el flujo de lodos presumía una elevación considerable del nivel freático, cosa inexplicable debido a que el escarpe se encontraba en la cima de la montaña, y por tanto, el aporte de agua debería provenir de otra zona; por tal razón, el estudio debía extenderse a las áreas aledañas. Para hacerlo se acudió a la información topográfica regional, donde se encontró a 130 m de distancia del escarpe una zona de topografía suave que facilitaba por su pendiente y su formación permeable (arenosa) la infiltración de aguas que alimentarían la vertiente en la parte media del lote en estudio, todo ello en razón del mayor gradiente hidráulico establecido por la pendiente y la menor distancia a la corriente de agua que cruza por la parte baja del lote. En síntesis, el agua de la vertiente vecina se infiltra y se permea hacia la ladera del lote aportando un volumen de agua que hace elevar la cota freática hasta niveles que afectan las condiciones mecánicas del suelo y permiten su desprendimiento y recorrido por la pendiente hasta aquietarse, generando unos depósitos pobres que finalmente obligarían a cimentaciones profundas.

#### • Las conclusiones del estudio:

Hasta ahora se ha descrito los resultados diagnóstico de la empresa asesora en los temas geológico-geotécnicos y una modelación preliminar, ahora bien, para confirmar la teoría elaborada al momento, acudieron a un sistema de análisis geotécnico retrospectivo (back analysis), que pretende reconstruir en un modelo las condiciones iniciales del terreno con su estratigrafía, características fisicomecánicas (Módulo de elasticidad, ángulo de fricción, límites líquido, cohesión, densidad etc.), y topográficas que permitieran someter el sistema a una evaluación de estabilidad bajo diferentes posiciones de nivel freático. Hecho esto, se corroboró:

En un corte de la zona general, geoméricamente coinciden la posición del nivel freático crítico de la ladera del lote en estudio y la cota del terreno aledaño que aportaría el agua.

Utilizando un software especializado de estabilidad de taludes (SLIDE), se realizó un modelo al que se varió paulatinamente el nivel freático hasta que este afectara las condiciones mecánicas y desencadenara el flujo de lodos (factor de seguridad menor a 1), la cota obtenida coincide con las obtenidas en el análisis geométrico mencionado en el punto anterior (Figura 1):

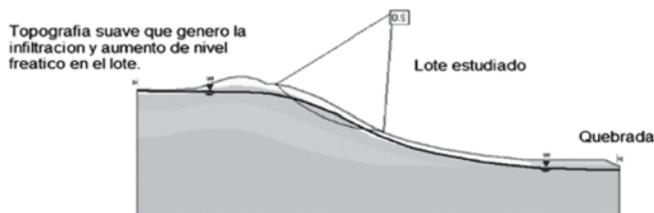


Figura 1 - Perfil nivel freático lote y ladera aledaña

De la misma manera, se hizo una evaluación del volumen de tierra generado por el desprendimiento a partir de la superficie de falla construida con los análisis descritos, la cual coincide con el volumen del flujo de lodos depositado en la ladera y cuantificado con los perfiles obtenidos de las exploraciones (Figura 2):

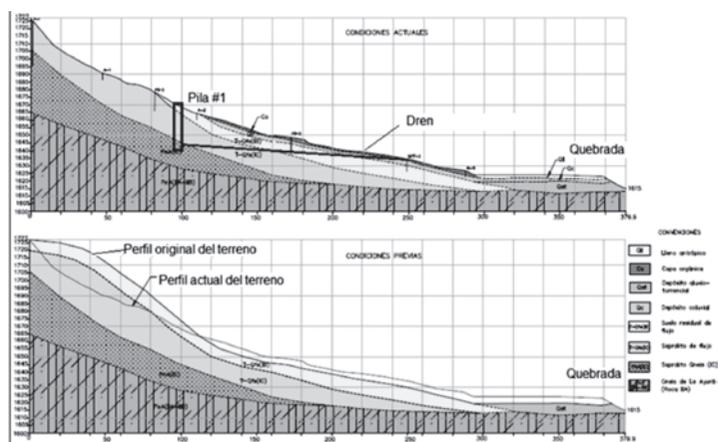


Figura 2 - Comparativo condiciones actuales y previas

• **Las recomendaciones de la empresa asesora:**

Elaborada y convalidada la teoría, el paso a seguir era formular una propuesta que garantizara que este evento o cualquier otro no generaría ningún riesgo sobre el nuevo globo urbanizado; para el efecto, la premisa fundamental era generar dispositivos que garantizaran que el nivel freático en la parte central del lote nunca ascendiera a una cota superior a la de la superficie menos 20m, es decir, que las masas de tierra en las que se asentarían las edificaciones no se saturarían; cabe anotar que la posibilidad de un evento desencadenante, como el ocurrido en el siglo pasado, estaba casi descartada, pues los procesos de urbanización han hecho que la ladera de baja pendiente que generó el empozamiento haya perdido permeabilidad, y adicionalmente, las posibilidades de un represamiento de agua en la zona están eliminadas por las obras de drenaje de vías y canales existentes; en adición a ello, la evaluación de estabilidad bajo las condiciones actuales (posteriores al evento) de la ladera arrojaban un factor de seguridad superior a 1.3; no obstante, para efectos de descartar sin ninguna duda los riesgos se asumieron las condiciones críticas, sin ningún atenuante.

La obra propuesta por la empresa asesora consistía fundamentalmente en un sistema de pilas drenantes ubicada en un punto tal que cubriera la masa de terreno susceptible de desestabilizarse, ubicada en un sitio que permitiera alcanzar la cota de control de nivel freático, y por último, que permitiera una fácil evacuación de las aguas sin obstaculizar la implantación de los edificios; para el efecto, se propuso una batería de 22 pilas (galería) con una profundidad estimada de 20m, conectadas entre sí en el fondo, generando un canal subterráneo con una pendiente del 2% que drenaría el agua hacia la pila denominada "Pila No. 1", y en esta pila se realizaría una extracción del agua de manera mecánica con bombas (situación que finalmente se modificó para realizar la evacuación por gravedad), como mecanismo de protección del sistema, las pilas contaban con un "fusible" o ducto de evacuación para un caso fortuito, ubicado en la mitad de la pila No. 1, que permitía la evacuación de agua por gravedad hacia un punto en la superficie ubicado a 40m de distancia subhorizontal del sistema (Figuras 3 y 4):

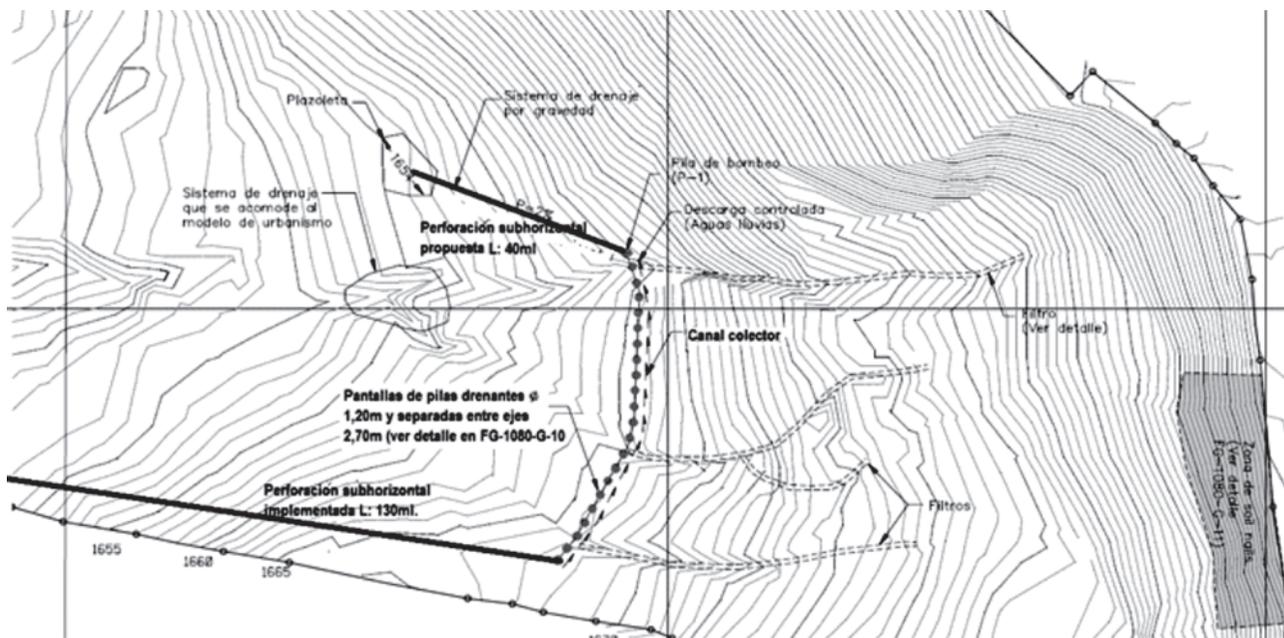


Figura 3 - Localización en plantas de obras de estabilización

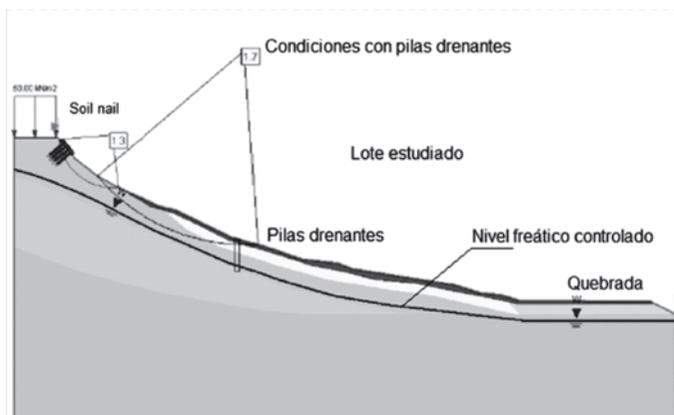


Figura 4 - Perfil modelado con solución de pilas drenantes

Así las cosas, esta fue la propuesta inicial para acometer la estabilización; a partir de ese momento se iniciaría la etapa de planeación y ejecución de las obras, previo a unas consideraciones por parte del constructor que finalmente permitieron que el sistema hiciera un aporte como contención a las excavaciones del proyecto:

• **El proceso de planeación:**

Las tareas a ejecutar por parte del grupo profesional de construcción consistían en planear el proceso y definir la logística de los trabajos, para ello se tenían algunas limitantes:

Se acordó con las autoridades municipales que los trabajos de estabilización debían iniciarse paralelamente con los de las edificaciones; por tanto, las obras de urbanismo que permitían la accesibilidad a la zona de trabajos no estaban avanzadas (condicionante 1).

De otra parte, la faena donde se realizarían las obras debería prepararse para evitar ingreso de aguas de escorrentía, toda vez que estábamos en una ladera con pendientes no despreciables (condicionante 2). Los estratos del terreno a intervenir eran de gran variabilidad, se iniciaban las excavaciones en estratos blandos (flujos de escombros y de lodos), se continuaba en limos arenosos deleznable en presencia de agua y, finalmente, se llegaba a estratos muy duros, con dificultad para realizar excavaciones manuales (condicionante 3).

Y por último, una condición práctica para el funcionamiento del sistema, era evaluar alternativas que permitieran la evacuación de las aguas de las pilas por gravedad; esto, para que el sistema fuera autosuficiente y no dependiera de equipos electromecánicos susceptibles de eventuales fallas y manejos por parte de la administración de las unidades residenciales. (condicionante 4).

Para acometer los trabajos, se plantearon como actividades iniciales la ejecución de una cañuela en la parte superior del

lote, que permitiera la evacuación de las aguas superficiales y así evitar el ingreso de estas a la zona de trabajos. Esta cañuela debió verse a una fuente de agua localizada a una distancia de 150 m del área a intervenir; de la misma manera, se procedió a realizar unos accesos o “carreteables” que permitieran acercar los materiales de construcción hasta un punto desde el cual podrían ser trasladados con equipos medianos de construcción, como plumas o en su defecto, con retroexcavadora o manualmente; todo ello debido a que la pendiente en esta zona se acercaba al 40% (no olvidar que se trabaja en una zona de ladera). Finalmente, los “carreteables” funcionaron permitiendo el ingreso de materiales a una plaza ubicada a 60 m de las excavaciones; a partir de allí, los profesionales de obra evaluaron varios mecanismos de transporte de material, optando por el sistema de coches convencionales que circulaban por una pista y eran traccionados por cable con pluma-grúas ubicadas en la parte superior del centro de mezclas y acopio de materiales. Así fueron removidas las condicionantes 1 y 2.

Para el inicio de las excavaciones se evaluaron varios sistemas de perforación, optando por el de excavación manual, dadas las condiciones de accesibilidad, disponibilidad, experiencia del constructor y evaluación económica; las pilas con un diámetro exterior de 1.2m e interior de 8m, debían construirse descendientemente, formando una estructura tubular que permitiera implementar los filtros perimetrales en sus paredes y generar el vacío interior que permitiera el proceso de excavación. Esta condición fue variada de manera importante por solicitud del constructor, quién sugirió que la inversión del sistema podría optimizarse al aprovechar las pilas como estructura de soporte de los taludes que se generarían al realizar las implantaciones del proyecto aledaño, situación que fue bien recibida por el asesor, y finalmente las pilas fueron reforzadas para atender las solicitudes generadas por las nuevas condiciones de trabajo, lo que produjo un cambio en el sistema de ejecución: se avanzaría con unos anillos de entibado en el proceso de excavación descendente y una vez se llegara a la cota de fondo, se ejecutarían los anillos estructurales ascendientemente con formaleta deslizante (Figura 5). Bajo esta premisa, se tenía resuelto de manera general todo el procedimiento; faltaba por resolver los sistemas de excavación una vez se llegaran a estratos con presencia de agua y a los estratos duros en donde la excavación manual se dificultaba. La primera restricción se resolvió con la experimentación de varios equipos de bombeo que cumplieran con los caudales y cabeza de presión necesarios para mantener en condiciones adecuadas el pozo de excavación; la especificación más difícil de atender en los equipos fue siempre la columna de

agua o cabeza de presión, lo que obligó siempre a contar con equipos nuevos y reemplazarlos o repotenciarlos tempranamente; en cuanto a la excavación en terrenos duros, se contó con la permanente presencia de personal de minería, expertos en explosivos para remover rocas y en la fase final de la excavación, a profundidades superiores a los 15m, se hizo necesaria la permanente presencia de martillos mecánicos accionados por aire comprimido. De esta manera fue removida la condicionante 3.

En cuanto a implementar un sistema de evacuación de agua de las pilas drenantes (hoy drenantes y de



Figura 5 - Detalle de pila de drenaje en 2 etapas.

contención) confiable y que no requiriera administración de ningún tipo (sugerencia realizada por los profesionales de la empresa comercializadora del proyecto), se revaluó el tema del dren tipo fusible que se ubicaría en la altura media de las pilas, bajándolo al fondo de la excavación, situación que automáticamente aumentaba la longitud del dren de 40m a 130m. Este dispositivo se ejecutaría con un equipo de perforación utilizado en construcción de pozos de agua y en exploraciones petrolíferas, consistente en una máquina de rotación anclada al piso que, con tubería petrolera y broca diamantada en la punta, perforara el terreno conformando así el ducto subhorizontal de evacuación de agua (Figura 6). Realizadas las consultas respectivas y después de agotar muchas posibilidades, la empresa Serviminas S. A. aceptó la ejecución del trabajo a pesar de las limitadas probabilidades de éxito, pues una excavación subhorizontal tipo barreno con una distancia de 130m con un punto de llegada tan preciso resultaba muy condicionada; en síntesis, el barreno debía:



- a. Partir de un punto donde las aguas pudieran ser dispuestas adecuadamente, y desde el cual el ducto en su recorrido no se viera intervenido por las fundaciones o estructuras de las edificaciones.
- b. La pendiente del ducto resultante debía ser de 2% mínimo para facilitar la evacuación y arrastre de finos, limitante que restringía aún más el punto de llegada vertical.
- c. El punto de llegada horizontal (en planta) debería tener una precisión de una vez el diámetro de la pila

drenante; esto debido a que la galería de pilas tenía limitadas sus posibilidades de ubicación por los criterios fundamentales de la estabilización de la ladera (Cota de control de nivel freático y ubicación del sistema para proteger la zona edificable).

Por efectos prácticos, la pila No. 1 receptora de las aguas de las demás pilas, y la misma que entrega al dren, se dispuso para ejecutarla una vez se tuviera la ubicación exacta de llegada del dispositivo de perforación, que se efectuaría con unos sofisticados dispositivos electrónicos.

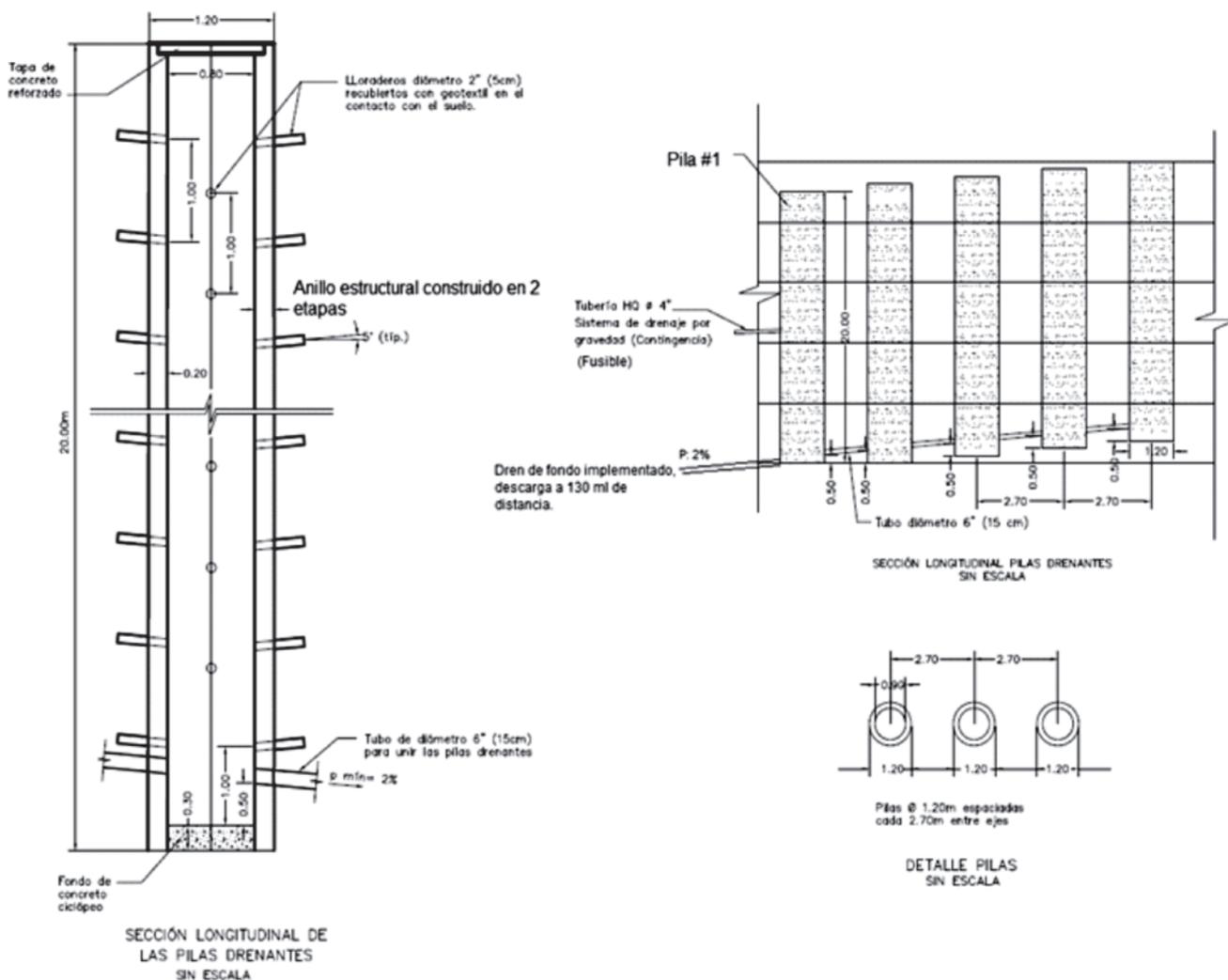


Figura 69 - Esquema de pilas drenantes

• **El proceso de ejecución:**

La ejecución de cañuelas (Figura 7) y el proceso mismo de excavación de las pilas transcurrieron con los inconvenientes menores propios de la actividad. La cañuela prestó su servicio adecuadamente, las excavaciones de las pilas en galería se efectuaron partiendo de la pila más baja hacia la más alta, pretendiendo un drenaje apropiado en el sistema de galería, y esperando que la pila No. 1 (receptora) y el dren de evacuación llegaran a feliz término en un tiempo tal que permitiera disminuir los bombeos en las pilas intermedias y finales. El uso de explosivos fue medurado y la excavación en estratos duros se efectuó con martillos compresores, lo que generó un sobrecosto compensado con economías en otras actividades; los materiales se acopiaron en el patio destinado para tal fin, y a partir de allí se trasladaron con la ayuda de las plumas de arrastre que facilitaron la logística de manera importante (Figura 8). En cuanto al dren o perforación subhorizontal con

barreno, tuvo varios tropiezos en la ejecución: en el primer intento, al excavar la longitud prevista y previo direccionamiento horizontal y vertical de los equipos de perforación, y después de realizar fallidamente las mediciones para ubicar la punta de la broca, la tubería de perforación se fracturó obligando a reiniciar el proceso desde cero con la consecuente pérdida de la tubería. En el segundo intento, que tuvo una duración de ejecución de varias semanas, la tubería llegó a un punto cercano al previsto, pero en la localización detallada se observó una desviación vertical que no permitía desaguar el sistema hasta la cota de control; como era aventurado repetir los trabajos, se hizo necesaria la realización de una galería de pilas auxiliares paralela al recorrido del dren (perpendiculares al sistema de pilas drenantes), con el fin de interceptar el ducto en un punto anterior al sitio en que se originó la desviación. Así, las pilas conectadas entre sí reemplazarían el dren en una longitud de 40m; finalmente, la batería y auxiliar en un tramo y el barreno en el tramo inicial garantizaron la correcta evacuación de



Figura 7 - Cañuela superior para evacuación de agua superficial



Figura 8 - Sistema de transporte con plumas de arrastre



Figura 9 - Recorrido del dren de evacuación



Figura 9 - Panorámica general de la zona de trabajos



Figura 11 - Interior de una pila drenante



Figura 12 - Vista del proyecto desde las pilas drenantes

las pilas drenantes y hoy el sistema funciona por gravedad, como lo sugerido en la etapa de planeación (Figuras 9, 10, 11 y 12).

### Conclusiones

No pocos fueron los obstáculos y los inconvenientes surgidos durante el proceso de construcción, pero todo ellos fueron salvados exitosamente. El lote con varios precedentes de exploración, hoy se desarrolla aportando progreso a la ciudad y brindando comodidad a muchos nuevos propietarios.

El proceso de habilitación del lote se dio por la necesidad creciente de tierras urbanizables, presión que no solo se da por intereses económicos, sino también comerciales, todos los cuales expresan la necesidad de vivienda en los centros urbanos.

De la misma manera, puede concluirse que en la búsqueda de satisfacer una necesidad social fue importante la aplicación de los procesos técnicos para suplirla.

Por otra parte, la habilitación del lote se posibilitó al incluir el valor de las obras de estabilización como mayor costo de la tierra.

Existen bloques de tierra que no es posible evaluar con un estudio convencional de suelos, sino que se requieren estudios de zonificación que involucren las áreas aledañas. Evaluar diversos sistemas constructivos sin descartar ninguno, resulta conveniente para obtener la solución adecuada.

La interacción entre diversas disciplinas, como la geología minera, la geotecnia, la arquitectura, la construcción, etc., acompañadas del buen juicio y el sentido común, fueron ingredientes básicos para la implementación de la solución final del proyecto. En él, se aplicaron habilidades constructivas y conocimientos prácticos para resolver el caso que fue modelado, descrito y explicado a partir de conocimientos con bases científicas y prácticas racionales, con aplicación de tecnología.

En términos de precisión topográfica, las tolerancias fueron temas de discusión, pues mientras las herramientas utilizadas eran altamente efectivas en exploraciones mineras a profundidad (cuyos puntos de llegada son amplios), en el caso estudiado esa precisión se circunscribía a unos pocos metros; fue necesario concretar esta discusión interdisciplinaria y ponerla en común entre los profesionales.

Es importante decir también que los trabajos realizados resultaron efectivos, y el grupo profesional considera hasta el momento que el sistema es eficiente; no obstante, sin socializar esta experiencia ni compararla con otras, o evaluando otras opiniones, resultaría apresurado afirmar la eficiencia referida.

Finalmente, se concluye que el sistema funciona de manera apropiada tal como se diseñó originalmente, con altas probabilidades de éxito; no obstante, la variación a la que fue sometido para optimizarlo con drenes que permitieran una evacuación de las aguas de manera natural por gravedad, resultó exitosa de manera providencial; pensar hoy en repetirlo sería obstinado.



## Agradecimientos

El trabajo de investigación y análisis realizado por la empresa Solingral S. A. Ingenieros de suelos, estuvo a cargo de los Ingenieros geólogos Diego Rendón y Diego Sánchez, quienes además participaron en el seguimiento a la ejecución de las obras.

Los trabajos de ejecución, a cargo de la empresa O. K. Inmobiliaria S. A. S. tuvieron el acompañamiento en obra de los profesionales Juan David Andrade G. y Guillermo León Galeano R.; la interventoría a cargo de Conhogar S. A. tuvo el acompañamiento del profesional Ricardo

Abreu. La coordinación general del proyecto estuvo a cargo de las empresas Conhogar S. A., Bienes y Bienes S. A. y O. K. Inmobiliaria S. A. S. El Subcontratista de obra para la ejecución del dren fue Serviminas SA.

## Referencias

Solingral S.A., Ingenieros de suelos (2007).Informe de zonificación geológica para lote Hacienda del Monte. Medellín: Estudio Técnico.

Ley 388 de 1997.Ley de Desarrollo Territorial.