

# CONDICIONES TÉCNICAS PARA LA EJECUCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS DE MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN BOGOTÁ

## TECHNICAL EXECUTION CONDITIONS FOR THE MOBILITY AND TRANSPORT INFRASTRUCTURES IN BOGOTA

Hernán Antonio González-Urrego<sup>1</sup>, Juan Carlos Ruge-Cárdenas<sup>2</sup>, Carles Labraña-De Miguel<sup>3</sup>

**Forma de citar:** GONZÁLEZ-URREGO Hernán, RUGE-CÁRDENAS Juan Carlos, LABRAÑA-DE MIGUEL Carles. Condiciones técnicas para la ejecución de infraestructuras de movilidad y transporte en Bogotá. Respuestas. 2014; 19(1):39-49.

Recibido:  
Diciembre 19 de 2013

Aceptado:  
Enero 28 de 2014

### RESUMEN

**Antecedentes:** Colombia está en un proceso de crecimiento económico acelerado, debido al gran atractivo geopolítico con el que cuenta y su excelente potencial de explotación de recursos naturales. Sin embargo existe un déficit importante de infraestructuras para la movilidad y transporte en los ámbitos rural y urbano, que afecta directamente dichos procesos económicos, en la improductividad ocasionada por las ineficientes infraestructuras de movilidad terrestre que comunican al país. En el ámbito metropolitano, la situación llega a ser crítica como ocurre en Bogotá, ciudad para la cual se han realizado innumerables estudios en ejecución de redes de transporte masivo de pasajeros que no son técnicamente factibles debido a que desconocen toda la complejidad que implica su territorio. **Objetivo:** Este texto introductorio a otros más específicos de los mismos autores, contiene los parámetros básicos a veces pasados por alto en los estudios de factibilidad técnica, con el objetivo de ponerlos en conocimiento de todos los posibles agentes (como también de los futuros usuarios) que participan en la realización de estudios de construcción en infraestructuras para la movilidad y el transporte con énfasis en Bogotá, aunque algunos de sus contenidos también pueden servir de referente para otras ciudades. **Método:** Mediante un análisis exhaustivo basado principalmente en información secundaria (fotografías aéreas, imágenes de satélite, fotografías del sitio, microzonificación sísmica, etc...) y experiencias en otras latitudes, se identificaron sitios neurálgicos de la ciudad de Bogotá con problemas de movilidad y que tuvieran un corredor ferroviario existente, para la implantación de un posible futuro Sistema Integrado de Transportes haciendo uso de diferentes tipologías de redes de conexión, a la luz de las necesidades de Bogotá y su conexión regional en el corto (5 a 8 años), mediano (5 a 10 años) y largo plazo (15 a 30 años) con una proyección de 30 años. **Resultados:** De acuerdo a diferentes variables que controlan aspectos constructivos de la ciudad, como la complejidad geotécnica, gestión de cultura, recursos, tecnología de construcción, entre otros, se

<sup>1</sup>Máster en Tecnologías de la Edificación  
nanchogonzalez@hotmail.com  
Universidad EAN  
Bogotá – Colombia

<sup>2</sup>PhD. En Geotecnia  
juan-ruge@unipiloto.edu.co  
Universidad Piloto de  
Colombia  
Bogotá – Colombia

<sup>3</sup>Ingeniero de Caminos,  
Canales y Puertos  
carles.labrana@upc.edu  
Universidad Politécnica de  
Cataluña  
Barcelona-España

logró de manera conceptual diseñar diferentes alternativas constructivas para infraestructuras de movilidad y transporte considerando los aspectos ya mencionados. **Conclusiones:** El planeamiento urbano de la ciudad respecto al mejoramiento de la movilidad y el transporte, depende principalmente de dos vertientes, el impacto en la calidad de vida de los usuarios (influenciada por la actividad social y económica) y la articulación con la propuesta de transporte modal de Bogotá.

**Palabras clave:** Infraestructura, Movilidad, Tecnología, Intermodal, Fundaciones profundas, Estructuras de contención

## ABSTRACT

**Background:** Currently Colombia has a process of rapid economic growth, due to its attractive geopolitical situation and excellent potential for the exploitation of natural resources. But there is a serious shortage of infrastructures for mobility and transport in rural and urban areas, which directly affects to these economics process, worse if we consider that the mobility land nets connecting the country are really inefficient. In most of metropolitan areas the situation becomes critical as in Bogotá, a city on which have been done many studies of people transport networks that are not technically executable because they don't respond totally to the complexity of the territory. **Objective:** This introductory text to others more specific by the same authors, contains the basic parameters sometimes overlooked in technical feasibility studies, in order to contribute with this contents as a reference's consults to all the people (as well as future users) that can be involved in the develop of studies for building infrastructure of mobility and transport with emphasis in Bogota, but knowing that some of its contents can be also a model for other cities. **Methods:** Through a comprehensive analysis based mainly on secondary information (aerial photographs, satellite images, site photographs, seismic microzonation, etc...) and experiences elsewhere, were identified neuralgic sites in Bogotá with mobility problems and presence of existing rail corridor for possible future implementation of an Integrated Transport System, using different types of connection networks, considering the needs of Bogotá and its regional connection in the short (5-8 years), medium (5 to 10 years) and long term (15-30 years) with a projection 30 years. **Results:** According to different variables that control constructive aspects of the city, such as the geotechnical complexity, management culture, resources, construction technology, among others, was achieved conceptually, to design different constructive alternatives for mobility and transport infrastructure, considering the aspects mentioned. **Conclusions:** The urban planning of the city with respect to improving the mobility and transport, depends mainly on two aspects, the impact on the life quality of users (influenced by the social and economic activity) and the relation with the proposal of modal transportation in Bogotá. **Keywords:** Infrastructure, Mobility, Technology, Intermodal, Deep foundation, Retention structures.

## INTRODUCCIÓN

En la formulación de nuevas infraestructuras para la movilidad y el transporte de una ciudad como Bogotá, es preciso definir su carácter intermodal, de manera que sean capaces de soportar las soluciones a las necesidades de la población en el corto, mediano y largo plazo.

El éxito de su puesta en servicio, radica en su definición como sub-fases de ejecución, en el gran proyecto que constituye la movilidad metropolitana en su totalidad. Esto sólo se logra mediante la capacidad de los proyectistas en entender la suma de, el aumento de la complejidad (aumento de datos) en la línea de tiempo más la definición del carácter intermodal inherente a cada infraestructura. Sumado a esto resulta imprescindible por tanto, que los participantes en la concepción de los proyectos tengan claro que dichas infraestructuras no pueden ser la respuesta a una necesidad de su reconocimiento personal, sino, la solución a las necesidades de la población quien colabora con sus impuestos en la implantación y mantenimiento de las mismas.

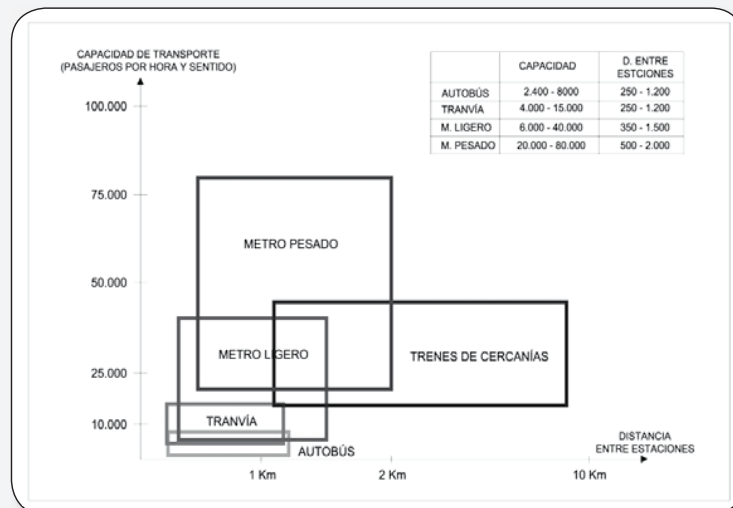
Tomando en cuenta que la ejecución de cualquier obra civil en el territorio a futuro se convertirá en un condicionante técnico para futuras actuaciones, es imprescindible conocer

las diferencias entre las capacidades de los sistemas de transporte, sus características técnicas, los requerimientos para su apropiada ejecución y sobre todo, el impacto que pueden generar en el desarrollo de las ciudades.

Manuel Melis Maynar y Francisco Javier González Fernández en su libro “Ferrocarriles metropolitanos”, en un gran esfuerzo por re difundir la diferenciación de los sistemas de transporte metropolitano, dejan claro, que los límites inferior y superior están respectivamente entre el bus y el tren de cercanías (González y Melis, 2008).

En la Figura 1 se expresa una conclusión de gran complejidad que nos permite solucionar una discusión en la que políticos y especialistas en el tema han divagado durante mucho tiempo en Colombia. “Realmente solo podemos considerar como sistemas de transporte masivo metropolitano, el metro pesado y el tren de cercanías”.

Aunque el metro pesado claramente presenta una mayor capacidad de pasajeros, debemos tener en cuenta, el ámbito de actuación de cada uno de los sistemas. El metro corresponde al sistema fundamental del transporte de pasajeros en el ámbito urbano, base de la productividad por tanto que permite a los ciudadanos moverse en el menor tiempo posible entre zonas de vivienda, negocios,



1. Diferenciación de los sistemas de transporte (González y Melis, 2008).

industria, etc. y estaciones intermodales en las que se proyecte la conexión ciudad – región, para lo que resulta ideal el tren de cercanías en la comunicación de centros urbanos y rurales productivos teniendo en cuenta la población que es necesaria desplazar para que su puesta en servicio resulte rentable.

Por lo tanto lo que define la implantación de un sistema u otro básicamente deberán ser las relaciones de conectividad entre, los grandes centros de productividad económica versus la distancia a recorrer entre la situación estratégica de las estaciones tanto en zonas de vivienda como en centros productivos de escala menor y la cantidad de usuarios del sistema.

Es más fácil entender las afirmaciones anteriores, mediante la exposición de otros datos más cercanos a la capacidad de los vehículos que prestarán el servicio de transporte.

En la Figura 2 se expone la diferenciación de la capacidad de los sistemas con base en una ocupación promedio de seis pasajeros de pie por metro cuadrado. Hay que aclarar que las columnas 3 y 4 corresponden a sistemas tranviarios.

Si hacemos la comparación entre los datos de los autobuses articulados con los vehículos de metro pesado correspondientes a la columna 5, estos últimos superan su capacidad en un 866% por puestos/hora dirección. Por supuesto la capacidad de los sistemas de transporte es directamente proporcional a la infraestructura independiente necesaria para su puesta en servicio (Lopez, 2006). Aunque los sistemas tranviarios correspondientes a las columnas 3 y 4 superan también la capacidad de los autobuses y consideremos como una de sus grandes ventajas el poder compartir las rasantes de circulación con otros sistemas de movilidad (vehicular, peatonal, ciclo rutas, etc.), a razón de una menor cantidad de Infraestructura independiente (del 0% al 40%), relacionada a menores costos de construcción, debemos tener en cuenta que esto se logra gracias a la reducción de su velocidad máxima de servicio (de 50 a 70 km/h), y al compartir con otros tipos de vehículos los cruces semaforizados en su trayecto. Pero cabe destacar que si las necesidades de movilidad en la población no requieren sistemas de transporte tan robustos como el metro, el tranvía resulta una excelente alternativa de solución. También si es necesario aumentar la capacidad en el servicio de metro, cuando es superada en ciertas franjas horarias y si la distancia entre paramentos de edificaciones consolidadas por los corredores donde se plantea la red tranviaria, permitan la implantación de su sección mínima constructiva, esta resultará ser una posible alternativa en casos extremos de ser necesario el aumento de dicha capacidad, resultando ser en la mayoría de circunstancias los autobuses la más apropiada.

En todos los casos que se decida implantar cualquier tipología de redes de transporte, será necesario tomar en cuenta la no apropiación de espacios públicos como las aceras laterales, espacios verdes no recuperables en otros sitios de la misma sección vial ó la reducción del número de carriles en lugares donde la intensidad media viaria actualmente es alta (Manterola, 2006).

Así mismo, resulta ser una solución muy

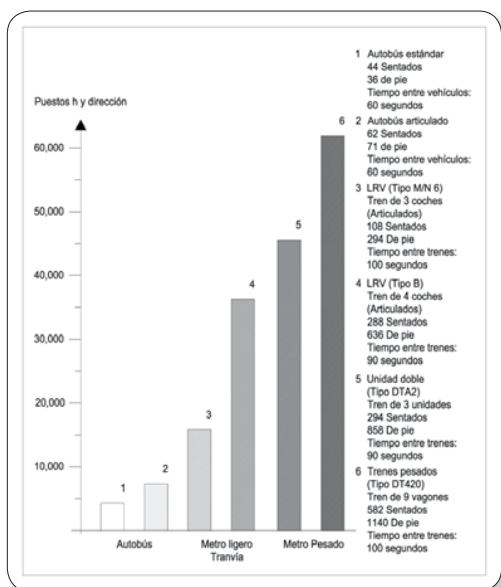


Figura 2. Capacidad de los sistemas de transporte (Rhein – Consult, 1986).

apropiada complementar los sistemas de autobuses con los sistemas tranviarios en donde proporcionalmente el sistema de autobús resulta ser la alternativa más común para aumentar la capacidad de transporte en las franjas horarias donde se detectan los mayores índices de movilidad en determinados tramos de los corredores (Foto 1). En estos casos el autobús podrá ofrecer trayectos diferentes y más largos, con el objetivo de aligerar la cantidad de población en los corredores compartidos con los tranvías, aprovechando los volúmenes de los orígenes y destinos previamente detectados en los usuarios mediante los diagnósticos de movilidad (Lopez, 1993).



Foto 1. Tranvía circulando por la Avenida Diagonal de Barcelona, a la altura del Parque del Centro de Poblenou.

Tomando en cuenta que la capacidad de los sistemas de transporte es directamente proporcional a la infraestructura independiente necesaria para su puesta en servicio, habrá que ser muy cuidadosos en la formulación de su implantación al territorio y sobre todo en ciudades como Bogotá en donde muchos estamos de acuerdo, que cualquier tipo de sistema para la movilidad y el transporte deberá promover la integración de los bordes viales por donde se ejecute con el objetivo de aumentar la integración social. Afortunadamente para ilustrar esta afirmación contamos con el acceso ferroviario a la Estación de Sants por su costado sur en Barcelona (Foto 2).



Foto 2. Accesos Ferroviarios a la Estación de Sants, por el costado sur. Tomado del proyecto de urbanización sobre la cubierta y espacios anexos del acceso ferroviario a la estación de Sants.

Considerando que las necesidades de movilidad en la ciudad, demandan la implantación urgente de sistemas de transporte masivo pesado y conociendo el impacto que puede generar su circulación a la misma rasante de urbanización, se hace imprescindible su formulación técnica a nivel soterrado en la mayor parte de sus trayectos. Por lo tanto, gran parte de los condicionantes técnicos de su ejecución radican en la complejidad geológica y geotécnica del territorio.

Durante millones de años, diferentes actividades de tipo geológico en la sabana de Bogotá, controlaron el comportamiento que presentan hoy día los depósitos localizados en la cuenca. La evolución del fenómeno fue gradual mediante la sedimentación de diferentes formaciones geológicas en diversos ambientes de depositación: fluvio-lacustres, fluvio-glaciales, terrazas altas, lacustres y llanuras aluviales.

El proceso geológico mas reciente está relacionado con la desecación de algunos lagos de la sabana y la sedimentación causada por los ríos que se fueron creando durante esta actividad, dando lugar a los depósitos conocidos como arcillas blandas en la mayoría de la cuenca.

En la Figura 3, se puede observar un esquema típico de un perfil trazado en una sección este-oeste entre la calle 127 y calle 200, donde es posible analizar la manera en que fueron depositados los sedimentos provenientes del deterioro progresivo de las formaciones

geológicas de la sabana que afloran de oriente a occidente, catalizados mediante agentes de transporte como ríos, morrenas, lagos, etc... (FOPAE, 2010).

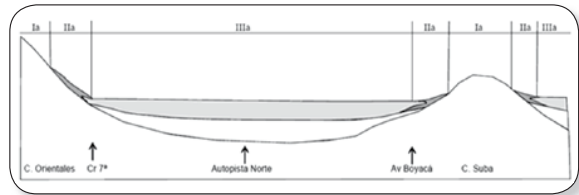


Figura 3. Perfil típico de la cuenca de depositación en Bogotá (FOPAE, 2010).

De acuerdo a lo anterior, en la sabana de Bogotá las tareas de excavaciones para fines de contención y fundación en las zonas con depósitos lacustres se tornan complicadas, ya que los suelos tienden a ser muy compresibles (asentamientos elevados) y ser poco competentes desde el punto de vista de capacidad de carga, con niveles freáticos altos y un basamento rocoso muy profundo en gran parte de la ciudad. A continuación se expone los procedimientos constructivos que podrían ser aplicados especialmente en intersecciones multimodales de cruces neurálgicos de la ciudad, con respecto a las necesidades de movilidad, transporte y características geotécnicas de la zona en donde se implanta.

## METODOLOGÍA

Los sistemas constructivos que a continuación se explican, nacen en el ámbito de una propuesta de proyecto, para la ejecución de sistemas integrados de movilidad y transporte, dentro del marco de procesos de investigación formativa y aplicada que se llevan a cabo con los estudiantes del programa de ingeniería civil de la Universidad Piloto de Colombia.

El proyecto consiste en el aprovechamiento de los corredores ferroviarios actuales para la implantación de un posible futuro Sistema Integrado de Transportes haciendo uso de diferentes tipologías de redes de conexión a la luz de las necesidades de Bogotá y su conexión regional en el corto (5 a 8 años), mediano (5 a 10 años) y largo plazo (15 a 30 años) con una proyección de 30 años. En la figura 4 se determina como sería factible la implantación

de las posibles tipologías constructivas en una primera fase, haciendo uso de la sección disponible del Ferrocarril de occidente hasta la avenida 68 y el ferrocarril del norte en su totalidad.

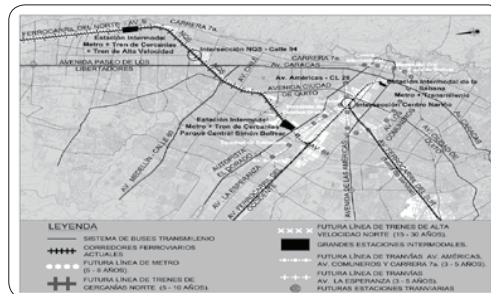


Figura 4. Proyecto en fase 1, implantación de un posible futuro sistema integrado de transportes para la ciudad de Bogotá.

La intermodalidad que define al Posible Sistema Integrado de Transportes está conformada por la implantación de nuevas redes de Tranvías, Metro, Trenes de Cercanías y Trenes de Alta Velocidad (“Inter-city”) según Lopez (2006b). La propuesta de implantación en los actuales corredores ferroviarios de Bogotá está sustentada por, la disposición de predios para la pronta ejecución de las obras, alta factibilidad económica y constructiva en la implantación de los sistemas de transporte público masivo, con métodos convencionales en el ámbito colombiano, considerable disminución del impacto sobre la población en las fases constructivas de los sistemas de transporte pesado en los periodos de ejecución de las obras y la alta interconectividad con el actual sistema de buses de Transmilenio.

Todo lo anterior con el objetivo de desahogar el actual sistema de transporte público de la ciudad, ejecutando redes de conexión con mayor capacidad de pasajeros y dar pronta solución a la problemática actual de transporte que se sufre en toda el área metropolitana. A continuación mediante la explicación de la complejidad que implica la ejecución de una de las intersecciones con un alto carácter intermodal en movilidad y transporte, se expresa la alta factibilidad técnica de ejecución de las infraestructuras necesarias para la puesta en servicio del posible sistema

de transporte intermodal expuesto en la figura 4, mediante procedimientos constructivos bien conocidos en el ámbito colombiano.

## RESULTADOS

Seguidamente analizamos 2 casos: La intersección diagonal 92 - NQS con calle 94 y más profundamente un caso específico, en la intersección de la Avenida Américas con Carrera 36 (Centro Nariño) (Fig. 5 y Foto 6), la posible intermodalidad futura en los sistemas de transporte está definida por, la circulación del sistema de metro soterrado y la implantación de una estación cercana a este cruce, la red de tranvías en su conexión con el occidente de la ciudad desde la Avenida Boyacá hasta el centro histórico y el centro internacional y la red alimentadora de buses de Transmilenio.



**Figura 5.** Alternativa de solución para la intersección avenida Américas con Carrera 36 - Centro Nariño.

Entre los aspectos a destacar de esta propuesta, están el evidente aumento de la calidad del espacio público con su integración de los diferentes sistemas de movilidad y transporte, mediante el aumento de la arborización y áreas verdes que procuran un alto confort paisajístico para los viandantes.

Con las nuevas estructuras a rasante de urbanización cabe destacar el puente de la rotonda elevada conformada por un tablero monolítico con el objetivo de reducir los costos en su mantenimiento, al introducir juntas de dilatación solo en los estribos.



**Foto 3** (estado actual) de la intersección avenida Américas con Carrera 36 - Centro Nariño.



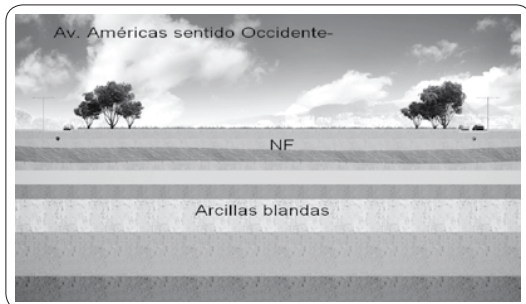
**Figura 6.** (Posible estado Futuro). Alternativa de solución para la intersección avenida Américas con Carrera 36 - Centro Nariño

A continuación se resume mediante las siguientes imágenes los procedimientos constructivos necesarios para su ejecución.

En el proceso constructivo descrito entre las figuras 7 y 11 se hace evidente la necesaria combinación de sistemas constructivos para lograr la ejecución de infraestructuras de transporte con altas capacidades de aforos y con un alto carácter intermodal sobre todo tomando en cuenta los condicionantes técnicos que presenta, la geología de la sabana de Bogotá.

Particularmente en la Figura 7, es posible observar el estado actual de un perfil estratigráfico típico de la ciudad de Bogotá en la intersección avenida Américas con Carrera 36, donde el estrato compresible es denominado como arcillas blandas, con presencia de algunos lentes de arena y el basamento rocoso localizado a una profundidad considerable induce el uso de cimentaciones profundas diseñadas a fricción,

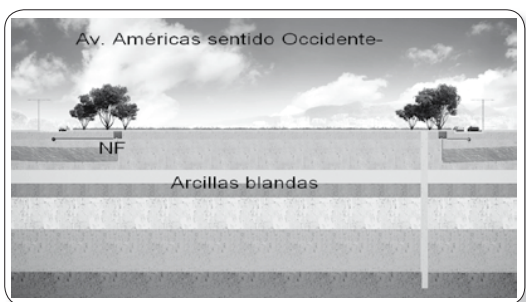
es decir, que el fuste de los pilotes interactúa con el estrato de arcilla, transmitiendo la carga de la superestructura al suelo mediante esta fricción o adhesión, si se quiere usar un término más adecuado.



**Figura 7.** Perfil típico estratigráfico en la intersección Av. Américas – Carrera 36 – Centro Nariño

Como se indica en la Figura 8, se hace imprescindible la instalación de sistemas de abatimiento del nivel freático, cuando se trata de la ejecución de túneles por procedimientos constructivos a cielo abierto, con el objetivo de no generar afectaciones en el suelo, que a futuro resulten en patologías estructurales o daños en las superestructuras cuando los túneles y demás estructuras nuevas y existentes, estén en la fase de su puesta en servicio.

La dificultad de su detección o prevención, radica en que en las fases de consultoría de proyecto de las alternativas constructivas, no se toman en cuenta la instalación de sistemas adecuados para el tratamiento de aguas en el subsuelo y además desafortunadamente las mencionadas patologías son detectadas tiempo después de la puesta en servicio cuando la integridad estructural ya puede estar altamente deteriorada.



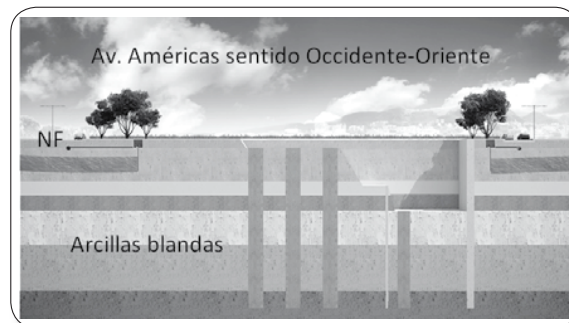
**Figura 8.** Fase 1. Instalación de sistemas de bombeo, para abatimiento del nivel freático. Ejecución de sistema de contención, hastial 1 Túnel de metro.

Es importante recalcar que el sistema de contención más usado en Bogotá es el llamado muro pantalla, el cual funciona muy bien en suelos con niveles freáticos altos, sin embargo otra alternativa es usar un sistema de contención y fundación (uso dual) con pilotes secantes, donde las distancias entre ejes de pilotes, coincide con el diámetro de éstos (Rosas, 2011) (Figura 9).

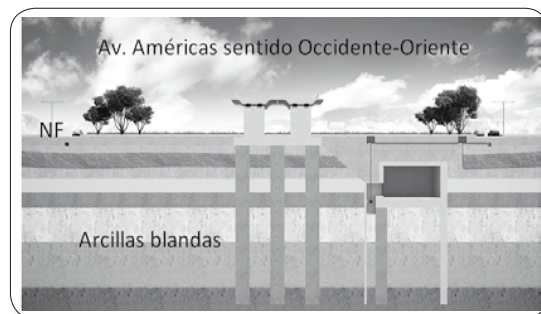


**Figura 9.** Sistema de contención en pilotes secantes (Rosas, 2011)

En la Figura 10 se observan las tareas de excavaciones e instalación de fundaciones que van a soportar las cargas de la rotonda elevada explicada anteriormente.



**Figura 10.** Fase 2. Excavación a cielo abierto para suelos blandos con taludes de proporción máxima 1-1, mínima 3-2 y ejecución de fundaciones.



**Figura 11.** Fase 3. Ejecución de hastiales, losas y sistemas de drenaje para el túnel de metro. Ejecución de estructuras del puente.



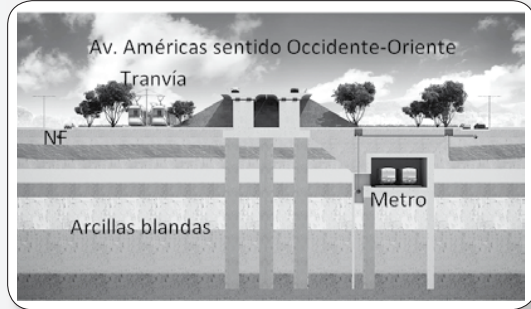


Figura 12. Fase 4. Ejecución de taludes verdes con proporción mínima 3-2, paisajismo y puesta en servicio.

Es evidente entonces que gran parte de los trabajos de ejecución de túneles para sistemas de transporte público pesados (metros, trenes de cercanías y otros trenes intermetropolitanos) en el ámbito metropolitano de la ciudad de Bogotá, se harán en suelos blandos.

No obstante, el método de cielo abierto no es la única opción para la ciudad; entre las alternativas más recomendables está el “Nuevo Método Austriaco Modificado” (Lopez J., 1997), con la gran ventaja de no afectar la rasante de urbanización y las redes de suministro, por no necesitar excavaciones a cielo abierto (solo en las zonas de acceso a obras) y que debido al uso de cerchas metálicas en la ejecución de la bóveda, que en el caso de los suelos blandos de Bogotá, donde su capacidad portante es muy baja, será imprescindible apoyarlas a otros sistemas constructivos como pantallas de pilotes secantes (fundación), para prevenir futuros asentamientos, tanto de los túneles, como de la rasante de urbanización (Figuras 11 y 12).

Estos deberán trabajar por fricción en las zonas donde el lecho de roca se encuentre a una profundidad mayor a los 50 metros, como también aumentar el canto de las cerchas metálicas, para mejorar la capacidad portante de la bóveda, la cual será aconsejable que esté en su mayoría a una profundidad mayor de 15 metros por debajo del nivel freático (Poulos y Davis, 1980).

Por consiguiente es preciso tomar en cuenta la filtración de agua a los túneles, tanto por

las pantallas de pilotes, como de los hastiales y bóveda finales del túnel. Su evacuación deberá hacerse mediante estaciones de bombeo.

En la Figura 13 se expone una alternativa de solución para la implantación de Estaciones de Bombeo en la ciudad de Bogotá, con características similares las utilizadas en el metro de Madrid, cuando los túneles son ejecutados en suelos blandos.

Cabe anotar que los sistemas constructivos tanto para la ejecución del túnel como de la estación están planteados específicamente para la ciudad de Bogotá. Los líquidos evacuados por las estaciones de bombeo, serán básicamente de dos calidades, agua limpia que será la procedente del trasdós del túnel, resultado de la filtración de agua y su captación entre la membrana de impermeabilización geotextil y el tubo trasdós del túnel y agua sucia que será la procedente de vertidos accidentales al interior del túnel, de aguas lluvia llevada al interior del túnel por las interacciones entre la vía y el tren o la condensación generada en la bóveda.

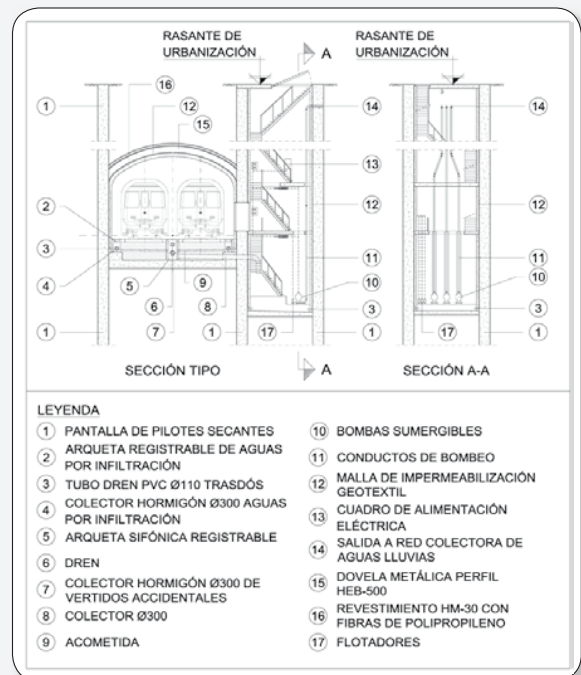


Figura 13. Alternativa de solución para la ejecución de túneles en suelos blandos y estaciones de Bombeo de aguas por filtración y vertidos accidentales

El bombeo se efectúa mediante tres bombas

sumergibles cuya puesta en funcionamiento es, a su vez, mandada por flotadores que actúan sobre el cuadro de alimentación eléctrica, accionando o no una o dos bombas cuando el agua recogida llega a un cierto nivel.

La tercera bomba entra en funcionamiento en caso de avería de las anteriores. La disposición de un sistema de drenaje longitudinal en el túnel permitirá canalizar de manera adecuada las aguas con las calidades anteriormente descritas hasta los puntos bajos, donde se ejecutarán las estaciones de bombeo que evacuen las aguas al exterior del mismo. También se han de disponer estaciones de bombeo en la entrada de las estaciones para evitar que el agua fluya al interior de las mismas.

Seguidamente complementamos el anterior ejemplo, con la descripción más sucinta de otra alternativa propuesta por el grupo redactor: Diagonal 92 – NQS con calle 94.



Figura 14. Estado actual y alternativa de la intersección diagonal 92 - NQS con calle 94. (Fuente y elaboración propia)

En esta solución se puede observar la solución propuesta de articulación del tráfico rodado tanto en superficie como soterrado. La solución engloba todos los modos de movilidad posibles en Bogotá: Tren-Tranvía, vehículo privado y transporte público rodado.



Figura 15. Estado actual y propuesta de exteriores. (Fuente y elaboración propia)

Respecto de la solución en superficie contempla taludes verdes y la integración del tráfico rodado de la intersección en distintos niveles.

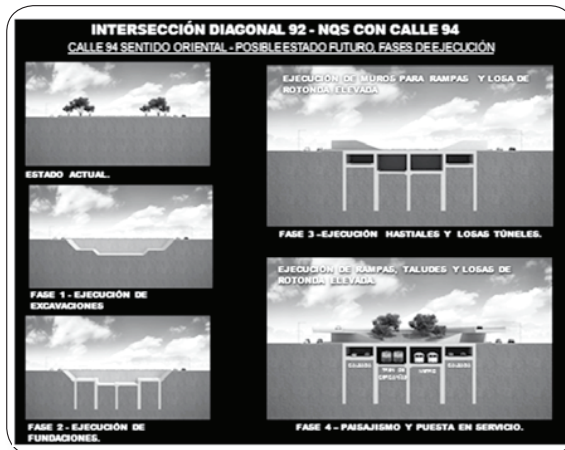


Figura 15. Fases del proceso constructivo. (Fuente y elaboración propia)

Seguidamente describimos brevemente la tipología constructiva. Se trata de un túnel tipo cajón excavado a cielo abierto y con cuatro secciones separadas, aunque no está reflejada en la imagen, sugerimos una quinta sección de menor tamaño que haga las funciones de túnel de servicios (en fase de explotación). Estas secciones separadas recogen de forma autónoma y por razones de seguridad los diferentes modos de transporte antes citados.

La cimentación requerida dada la litología de Bogotá sería profunda, con pantallas de pilotes secantes para no interferir excesivamente las

líneas equipotenciales del agua freática.

## CONCLUSIONES

Es imprescindible para todos los gestores y ejecutores de los futuros proyectos de movilidad y espacio público para la ciudad de Bogotá conocer las diferencias entre las capacidades de los sistemas de transporte, sus características técnicas, requerimientos para su apropiada ejecución y sobre todo, el impacto que pueden generar en el desarrollo de la ciudad, independientemente del origen de su formación profesional, pero con la necesaria obvedad que define el énfasis de sus conocimientos.

El adecuado aprovechamiento de las tecnologías actuales de ejecución de infraestructuras mediante sistemas constructivos aplicados bajo criterios realmente prácticos en el ámbito de la ciudad de Bogotá, permitirá el éxito de la ejecución de las obras de movilidad y transporte que tanto requiere la capital, teniendo claro que para cumplir este objetivo habrá que ser mucho más rigurosos en los estudios de alternativas constructivas de solución, donde su éxito estará directamente ligado a una correcta definición de las problemáticas del territorio mediante la lectura apropiada que requieren los datos de Diagnostico.

La conclusión básica extraída del artículo, radicaría en que toda programación y/o planificación de la ejecución de las obras a realizar para la nueva implementación en Bogotá de nuevos modos de transporte guiados (Metro y/o Tranvía) debería tener 2 condiciones inherentes e indisolubles: En primer lugar el *planning* constructivo debe tener en cuenta dos parámetros claros (el menor impacto en la vida cotidiana de los ciudadanos en su actividad social y económica y la mayor eficiencia económica y financiera de las obras y en segundo lugar y como elemento fundamental desde el punto de vista del transporte público: La planificación de las obras ha de estar cruzada y en sintonía con la nueva implementación, y sus fases, de la

propuesta de transporte modal de Bogotá)

## BIBLIOGRAFÍA

Gonzalez, F.J. y Melis M. (2008). *Ferrocarriles Metropolitanos*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (FOPAE). (2010). Bogotá: *Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sismo resistente de edificaciones*.

Lopez J. (1997). *Manual de túneles y obras subterráneas*. Madrid: Primera edición. Editorial Entorno Gráfico, S.L.

Lopez, A. (1993). *Criterios de Planificación de las nuevas Infraestructuras Ferroviarias*. Barcelona: Ediciones UPC.

Lopez, A. (2006) *Explotación de líneas de Ferrocarril*. Barcelona: Ediciones UPC.

Lopez, A. (2006b). *Infraestructuras Ferroviarias*. Barcelona: Ediciones UPC.

Manterola, J. (2006). *La Ingeniería como obra de Arte*. Pamplona: Editorial Lateoli.

Poulos, H.G. y Davis E.G. (1980). *Pile foundation analysis and design*. Wiley Series in Geotechnical Engineering.

Rosas, J.J. (2011). *Geojuanjo: una visión pragmática y personal de la geotecnia aplicada*. Recuperado de: <http://geojuanjo.blogspot.com/2011/04/cuidado-con-las-pantallas-de-pilotes.html>