

**RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCIÓN PARA LA PROYECCIÓN DE LA
PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ, COLOMBIA, DE ACUERDO CON
EL METRO DE SÃO PAULO BRASIL**

LILIANA MARCELA PINTO REYES

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
ALTERNATIVA INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ D.C.
2016**

**RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCIÓN PARA LA PROYECCIÓN DE LA
PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ, COLOMBIA, DE ACUERDO CON
EL METRO DE SÃO PAULO BRASIL**

LILIANA MARCELA PINTO REYES

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Directo
JAVIER VALENCIA SIERRA
Ingeniera Civil**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
ALTERNATIVA INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ D.C.
2016**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación

Director de Investigación
Ing. Javier Valencia Sierra

Asesor Metodológico
Ing. Ronal Serrano

Jurado

Bogotá D.C., agosto de 2016

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	7
1. GENERALIDADES	8
1.1 ANTECEDENTES.....	8
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.2.1 Descripción del problema.....	11
1.2.2 Formulación del problema.....	12
1.3 OBJETIVOS.....	12
1.3.1 Objetivo general.....	12
1.3.2 Objetivos específicos	12
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	12
1.5 METODOLOGÍA	13
2. MARCO DE REFERENCIA.....	16
2.1 MÉTODOS CONSTRUCTIVOS.....	17
2.1.1 Sistema de excavación con tuneladora.....	17
2.1.2 Sistema de excavación Cut and Cover / corte y cobertura	19
2.1.3 Método constructivo elevado	19
2.1.4 Método constructivo superficie.....	20
3. METRO EN SÃO PAULO, BRASIL: PROCESO CONSTRUCTIVO	21
3.1 METRO DE SUPERFICIE.....	22
3.2 METRO ELEVADO	23
3.3 METRO SUBTERRÁNEO.....	24
3.1.1 Método de trinchera o VAC.....	25
3.1.2 Túneles mineros (NATM)	26
3.1.3 Mecanizado / (TBM – Tunnel Boring Machines).....	28
4. CONCLUSIONES	32
5. RECOMENDACIONES.....	33
6. BIBLIOGRAFÍA.....	36

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Tuneladora PLMB en obra.....	18
Figura 2. Subestructura metro elevado.....	20
Figura 3. Línea de tren superficial.....	22
Figura 4. Línea de metro elevado São Paulo.....	23
Figura 5. Línea elevada metro São Paulo.....	24
Figura 6. Construcción línea metro por método de trinchera.	25
Figura 7. Método constructivo NATM.....	26
Figura 8. Esquemas de funcionamiento equipos.	29
Figura 9. Proceso constructivo línea 4 São Paulo	31

INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico y urbano descontrolado que presenta la ciudad de Bogotá ha presentado grandes impactos sociales, económicos, ambientales y de movilidad para los ciudadanos, siendo este último uno de los más importantes a nivel global de todo el área metropolitana ya que el actual sistema de transporte ha colapsado debido a las condiciones de operación y mantenimiento que han maltratado la calidad de vida de los usuarios, dado lo anterior es de gran importancia la implementación de un sistema de transporte adecuado que garantice la calidad del servicio para los usuarios como lo es el metro.

El metro se conoce como un sistema de transporte masivo de trenes o ferrocarriles que se desarrollan en el área metropolitana de una ciudad y se conectan con las diferentes zonas ubicadas en los alrededores de esta, por medio de una red compuesta de varias líneas donde se encuentran las estaciones de embarque y desembarque de pasajeros que no están muy separadas entre sí.

El proyecto de grado que se describe a continuación, busca identificar las recomendaciones constructivas para la primera línea del metro de Bogotá, basándose en consultas teóricas y en una visita técnica internacional que realiza la Universidad Católica de Colombia a la ciudad de São Paulo en Brasil con los estudiantes de la Facultad de Ingeniería.

Dentro de las empresas e instituciones que se visitaran en la ciudad de São Paulo, los estudiantes del programa de Ingeniería Civil realizaran la visita técnica internacional al metro de la ciudad, por lo que este proyecto de investigación servirá para conocer e identificar el proceso constructivo empleado para la ejecución del METRO como nuevo sistema de transporte y realizar las recomendaciones constructivas para la primera línea del metro de Bogotá.

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

En los últimos años Bogotá ha enfrentado un crecimiento acelerado de la población y densificación en el centro de la ciudad, para lo cual se deben establecer medidas que mitiguen los impactos ocasionados en la calidad de vida de las personas. En la tesis nombrada “Conurbación y Desarrollo sustentable: una estrategia de intervención para la integración regional” desarrollada por Juanita Isaza Guerrero de la Pontificia Universidad Javeriana¹, se puede visualizar que actualmente Bogotá no se encuentra organizada y enfrenta problemas importantes en su medio ambiente que afectan la cotidianidad de las personas, un ítem importante que aborda este trabajo, es el transporte de la ciudad de Bogotá desde una óptica de planeación urbana y regional.

Las vías que comunican a la ciudad de Bogotá con municipios cercanos como Chía, Cota, Soacha, Funza y Mosquera, transportan cerca de 10.000 vehículos, los cuales en su mayoría son vehículos que ingresan la ciudad y que decrece su concentración a medida que se encuentran más alejadas de esta; al ingresar este número de vehículos a la ciudad genera conflictos en la movilidad de usuarios por lo que hace importante el desarrollo de un adecuado sistema de transporte.

Otro aspecto importante indicado por Juanita es su proyecto es la ineficiencia del actual sistema de transporte público ya que este genera alto grado de afectación en ruido, producción y congestión y la falta de articulación con estaciones de buses, terminales y aeropuertos.

Una red urbana debe contener un alto número de conexiones optimizadas que permitan la movilidad de personas y que se ajusten al desarrollo de actividades económicas de los mismos, partiendo de la movilidad como un derecho de las personas en condiciones de seguridad que mejoran su calidad de vida, se estructure bajo condiciones de competitividad y sostenibilidad.

La investigación que se desarrolló, relaciona estrategias que permiten interrelacionar los sistemas de medio ambiente y movilidad para la ciudad de Bogotá y municipios cercanos lo cual permite identificar los problemas de movilidad dentro y la ciudad y realiza la proyección de la primera línea del metro de Bogotá con un proceso constructivo adecuado que minimice los impactos por construcción que se puedan generar en la ciudad.

¹ ISAZA GUERRERO, Juanita. Conurbación y desarrollo sustentable: una estrategia de intervención para la integración regional. Caso: primer anillo metropolitano Bogotá - Sabana de Occidente [en línea] Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/223>>.

Por otro lado Fernanda Castro Rubiano² de la Universidad de la Salle en su proyecto de grado nombrado “El Proceso de Planificación Territorial para la región de Bogotá Cundinamarca: seguimiento y análisis a partir de 1991”, reitera la expansión de la ciudad de Bogotá en donde la planificación y el desarrollo de la misma han cobrado fuerza en los últimos años, y en donde no ha sido posible ejecutar los proyectos que se han discutido en cuanto a movilidad social de la ciudad.

Dentro de las políticas de planificación territorial que plantea Fernanda en su trabajo se nombra el desarrollo de la movilidad y los sistemas de transporte, lo cual permite establecer la importancia de las buenas prácticas en el proceso constructivo de la primera línea del metro de Bogotá para evitar las afectaciones en gran escala en el desarrollo económico de la ciudad.

Un elemento importante indicado son los Planes de Ordenamiento Territorial – POTs, los cuales guían la organización de la una ciudad mediante acciones político-administrativas y de planificación física, que a su vez permiten establecer adecuadamente las rutas de transporte para la movilidad de pasajeros optimizando recorridos.

Del mismo modo en la tesis realizada por María Victoria Celis y María Isabel Villalobos³ de la Universidad del Rosario nombrada “Impacto del sistema Integrado de Transporte Público en la productividad de la empresa Transportes Bermúdez S.A”, se puede visualizar las fuertes críticas negativas que se han realizado al SITP por parte de bogotanos, dadas la condiciones de la malla vial, proceso de chatarrización, exigencias medioambientales en cuanto a aire y ruido, sistemas de recaudo, tiempos de recorrido, accidentalidad vial, inseguridad, entre otras que sin duda alguna exigen un sistema de movilidad diferente que garantice la comodidad y beneficio a los usuarios.

Continuando con la implementación del SITP, nos remontamos la historia de Bogotá y el desarrollo del transporte público de pasajeros realizado con el incremento exagerado de la población; este sistema inicio en 1884 con el tranvía de tracción animal, luego en 1943 inició la circulación de buses eléctricos y posteriormente ingresaron los buses a gasolina y lo trolleys, es allí donde se enfrenta una gran problemática de accidentalidad generada por la llamada guerra

² CASTRO RUBIANO, Fernanda. El Proceso de Planificación Territorial para la región de Bogotá Cundinamarca: seguimiento y análisis a partir de 1991 [en línea] Bogotá: Pontificia de la Salle [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/3851/T10.14%20C279p.pdf;sequence=3>>.

³ CELIS VERA, María Victoria y VILLALOBOS ORTIZ, María Isabel. Impacto del Sistema Integrado de Transporte Público en la productividad de la empresa Transportes Bermúdez S.A. [en línea] Bogotá: Universidad del Rosario [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: <http://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/4211/1018428880-2013.pdf?sequence=1>>.

del centavo, pese a esto llega en el año 2000 el sistema de transporte masivo llamado Transmilenio, el cual presentó fuertes impactos durante su construcción; sin embargo al inicio de su implementación y funcionamiento se logró evidenciar un cambio favorable a la ciudad que poco tiempo después dadas las condiciones de crecimiento, densificación urbana, la no ejecución de todas sus fases y su inadecuada implementación colapsaría, denigrando la integridad e los pasajeros, ya que este sistema presenta fallas en tiempos de llegada, recorridos, estaciones, entre otros. Finalmente durante varios años se ha propuesto implementar un sistema que actualmente muchas ciudades han desarrollado, este es el metro, el cual ha tomado mayor fuerza durante los últimos años.

De este modo María Victoria y María Isabel indican que Bogotá debe contar con un sistema de transporte público que ofrezca al usuario un buen servicio, eficiencia, seguridad, y que sea competitivo ante el uso del carro particular; por lo que se deben materializar proyectos indicados en el Plan Maestro de Movilidad, como las fases faltantes de sistema de transporte masivo Transmilenio, la primera línea del metro, el tren de cercanías, y los cables aéreos, por lo tanto se considera permitente que el proyecto de mayor impacto en la movilidad de los ciudadanos y por lo tanto el primero a desarrollar debe ser la primera línea del metro, por lo anterior es relevante establecer un proceso constructivo adecuado que permita el óptimo desarrollo de la ciudad mientras este se ejecuta.

En Bogotá la proyección del metro para transportar a los miles de ciudadanos que soportan el actual tráfico de la ciudad, ha tomado mayor fuerza durante los últimos cinco años, no solo contando con estudios técnicos de gran magnitud y especificaciones rigurosas según lo indican el Instituto de Desarrollo Urbano – IDU, sino también por el valor social y presupuestal que se ha destinado a dicha labor.

Por otro lado Rafael Andrés Moré Jaramillo y Matthieu Giret⁴ en su artículo Movilidad Sostenible en Bogotá D.C – Caso metro Bogotá, describen la mala situación actual del sistema de transporte público y su deficiencia para soportar la demanda de usuarios en horas pico, por lo tanto indican la importancia de la implementación una alternativa diferente que opere de manera ordenada como lo es el sistema metro, ya que actualmente Bogotá pertenece a las tres ciudades junto con Kinshasa en el Congo y Dhaka en Bangladesh, que cuentan con más de siete millones de habitantes y que no tienen metro, lo cual hace más ambicioso la implementación de este proyecto en la ciudad, que se ha venido desarrollando por el Programa Nacional de Transporte Urbano PNTU, el cual pretende contribuir al

⁴ MORÉ JARAMILLO, Rafael Andrés y GIRET, Matthieu. Movilidad sostenible en Bogotá D.C. – caso metro Bogotá. [en línea] Bogotá: Universidad el Bosque [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista_tecnologia/volumen12_numero2/5Articulo_Rev-Tec-Num-2.pdf>.

desarrollo del transporte público en las principales ciudades de Colombia, dada su crecimiento demográfico que se desarrolla con la congestión en la movilidad de ciudadanos.

De esta manera La óptima implementación de este sistema depende de los estudios de factibilidad y pre factibilidad que se deben realizar en diferentes áreas como las financieras, ambientales, urbanísticas, jurídicas, operativas, socioeconómicas y para el desarrollo del presente trabajo, la más importante el área técnica que determina el adecuado proceso constructivo a implementar.

Dada importancia del proyecto de la primera línea del metro de Bogotá, el Instituto de desarrollo urbano indica que se han desarrollado diez alternativas de trazado entre diciembre del año de 2008 y diciembre del año 2010, de las cuales se seleccionaron cuatro para ser evaluadas por la Universidad Nacional y la Universidad De los Andes, para finalizar con el actual trazado que tiene el proyecto; sin embargo a este momento dado el cambio de Alcaldía el trazado estudiado puede enfrentar modificaciones y por lo tanto ajustes en el proceso constructivo.

Teniendo en cuenta que la ciudad de Bogotá requiere para su sistema de transporte el desarrollo del metro, tomamos como referencia el metro de la ciudad de São Paulo, Brasil, el cual inició con una historia similar a la de los colombianos, y actualmente plantea una proyección de 30 líneas para el 2030.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema. El acelerado crecimiento demográfico y urbano que presenta la ciudad de Bogotá ha presentado grandes impactos sociales, económicos, ambientales y de movilidad para los ciudadanos, en cuanto a movilidad el actual sistema de transporte ha colapsado debido a las condiciones de operación, mantenimiento, tiempos de llegada , recorridos, hacinamientos, entre otros que han venido denigrando la integridad de los pasajeros, por lo que es de gran importancia la implementación de un sistema de transporte adecuado que garantice la calidad del servicio para los usuarios.

Teniendo en cuenta que Bogotá es una ciudad urbanizada en su mayoría y que su desarrollo ha sido desorganizado, la ejecución de la primera línea del metro debe contar con un sistema constructivo que permita el menor impacto sobre las actividades cotidianas de los ciudadanos, la optimización de tiempos y la proyección del sistema.

Adicionalmente Bogotá cuenta con una discusión que se plantea entre la anterior Alcaldía y la actual sobre el trazado y el proceso constructivo a emplear para la ejecución de la primera línea del metro, por lo que el presente trabajo pretende indicar los óptimos métodos constructivos a emplear para este proyecto.

Los antecedentes indican el valor del desarrollo de la primera línea del metro de Bogotá con un óptimo proceso constructivo, dadas las experiencias que ha tenido la ciudad en la expansión poblacional y en la ejecución de obras de malla vial.

1.2.2 Formulación del problema. ¿Cuáles con las recomendaciones de construcción para la proyección de la primera línea del metro de Bogotá Colombia, de acuerdo con el metro de São Paulo Brasil?

En búsqueda de una solución a la problemática que enfrentan los ciudadanos bogotanos en materia de transporte, el proyecto de visita técnica internacional ayudará a identificar el método constructivo adecuado para ejecutar la primera línea del metro de Bogotá y de esta manera combatir parte de la crisis actual que enfrentan los usuarios, lo anterior debido que São Paulo cuenta con 5 líneas de metro, las cuales se han ejecutado de tal manera que han optimizado tiempo y minimizado fuertes impactos ambientales, sociales y económicos en los ciudadanos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Analizar los procesos constructivos empleados en la ejecución de las líneas del proyecto metro en la ciudad de São Paulo en Brasil para recomendar las óptimas opciones a implementar en el desarrollo de la primera línea del metro de Bogotá.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Conceptuar los procesos constructivos que se emplean para la ejecución del metro en sus diferentes niveles.
- Exponer los procesos constructivos empleados en la ejecución del proyecto metro en la ciudad de São Paulo estableciendo las ventajas y desventajas de cada proceso.
- Proponer y demostrar las recomendaciones para la construcción de la primera línea del metro de Bogotá en base a la experiencia desarrollada por São Paulo.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Es importante especificar que actualmente Bogotá presenta una crisis en movilidad y transporte que se ha tratado se subsanar con diferentes sistemas como el sistema integrado de transporte - SITP y el sistema de transporte masivo Transmilenio que han colapsado dadas las condiciones de operación y crecimiento demográfico; por lo tanto se deben implementar nuevos sistemas que ya se han desarrollado en otras ciudades a nivel de movilidad y tránsito como lo es el metro.

La ciudad de São Paulo en Brasil cuenta con una movilidad aceptable en el sistema de transporte integrado entre metro, tren y bus que movilizan una gran cantidad de personas a lo largo de la ciudad, dentro de este sistema 5 líneas hacen parte del metro las cuales cuentan con un nivel de confort adecuado para las personas, los procesos constructivos que se han implementado en el desarrollo de estas 5 líneas se han perfeccionado a través de la construcción de casa una y han permitido la reducción en tiempos planeados e impactos significativos en la ciudadana durante su ejecución, por lo que es importante conocerlos para realizar las recomendaciones constructivas pertinentes para el desarrollo de la primera línea del metro de Bogotá.

Establecer un método constructivo adecuado permite generar ventajas para construcción de un determinado proyecto, los impactos significativos se pueden visualizar en costos, ambiente, calidad de vida, condiciones técnicas, tiempos, entre otros que permiten generar un ambiente sano entre los ciudadanos.

1.5 METODOLOGÍA

El estudio que se empleará en el proyecto es el estudio exploratorio o formulativo ya que mediante la visita técnica internacional desarrollada se pueden identificar los métodos constructivos empedados en el metro de la ciudad de São Paulo, y de esta manera generar hipótesis de primer y segundo grado sobre el planteamiento constructivo de la primera línea del metro de Bogotá.

Este modelo se caracteriza por proponer pocos antecedentes en cuanto al modelo teórico, ya que no se ha desarrollado un proyecto que identifique el método más óptimo para la ejecución de la primera línea del metro de Bogotá, y se considera que el trabajo puede servir de base para realización de nuevas investigaciones.

Adicionalmente, este tipo de estudio puede complementarse con el estudio descriptivo ya que este permite analizar el comportamiento de un fenómeno y sus componentes en este caso los métodos constructivos empleados en el metro de São Paulo en Brasil.

Durante este proyecto se describen características de los diferentes procesos constructivos empleados para la ejecución del sistema de transporte de pasajeros metro que se han implementado, especificando los desarrollados en la ciudad de São Paulo para recomendar el óptimo método a ejecutar en la primera línea de Bogotá.

La metodología desarrollada en el trabajo es de tipo cualitativa, ya que permite identificar las recomendaciones en proceso constructivo para un proyecto.

Por otro lado el método científico consiste en el descubrimiento de las condiciones que representan determinados sucesos que se pueden verificar dentro de un

determinado contexto y que se pueden demostrar mediante un trabajo de investigación, dado que su objetivo principal no es encontrar verdades si no establecer la veracidad de lo descrito en este caso las recomendaciones generadas para construcción de la primera línea del metro de Bogotá.

La investigación científica parte de la interpretación objetiva que permite la formulación de los problemas investigativos limitados y especificados dentro de un contexto y una situación, en el caso particular del proyecto en referencia la presenta investigación se encuentra delimitado por los proceso empleados en la ciudad de São Paulo, este método elimina la posición de manipulación de información para establecer criterios que permitan imponer juicios , creencias o deseos, de este modo, las recomendaciones constructivas generada serán objetivas de acuerdo al análisis realizado de la información consultada.

Como elementos del método científico tenemos los conceptos y las hipótesis, los conceptos son elementos propios que permiten esquematizar la investigación que se realizará, por lo tanto los conceptos empleados se enmarcan dentro de los sistemas constructivos que se analizaran.

Cuando se hace referencia a la hipótesis se estima lo que se está buscando, por lo tanto a partir del desarrollo teórico de la investigación se puede establecer una idea cercana a la recomendación óptima para la construcción de la primera línea del metro de Bogotá.

Dentro del método científico encontramos la conjugación de la inducción y la deducción, por lo que existen cinco etapas importantes dentro del desarrollo del proceso, los cuales se describirán a continuación:

- Percepción de una dificultad: se encuentra una situación problema, en la presente investigación la falta de sistema transporte público de pasajeros que minimice los impactos ocasionados por el incremento poblacional, y que construya con un método óptimo de tal manera que mitigue los impactos generados por cualquier ejecución de obra.
- Identificación y definición de la dificultad: en esta definición se presentan las observaciones que permiten identificar la dificultad, las cuales se pueden observar en los antecedentes.
- Soluciones propuestas para el problema: en este capítulo se pueden formular posibilidades para la resolución del problema, las cuales se planean en la formulación del problema y en el desarrollo de los diferentes capítulos.
- Deducción de las consecuencias de las soluciones problemas: este paso permite identificar si la hipótesis s o no acertada y sus consecuencias las cuales

se pueden visualizar en el capítulo de recomendaciones para la construcción de la primera línea del metro de Bogotá.

- Verificación de la hipótesis por medio de la acción.

El proceso de investigación contempla dos partes fundamentales la del proceso que hace referencia a la forma de realizar la investigación, pasos, secuencias, entre otros y la parte formal que hace referencia a la presentación escrita de la investigación realizada, de este modo el proceso de investigación debe contener datos e fuentes primarias y secundarias, por lo que dentro de las principales fuentes de información tenemos, El centro de operaciones del metro de la ciudad de São Paulo, los sitios Web oficiales de la gobernación de São Paulo, de la empresa metro de São Paulo, Artículos de tendencias ferroviarias en el mundo, noticias del desarrollo del proyecto metro en São Paulo y Bogotá, el sitio Web oficina Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá –IDU, el manual del ingeniero Civil, y proyecto de grado realizados previamente por otros estudiantes, todas estas fuentes permiten el descubrimiento de principios generales.

Por lo general la investigación parte de resultados anteriores desarrollado entorno al problema planteado, por lo tanto para el desarrollo de la presente investigación, tal como se indican en los antecedentes del presente documento, se basa en proyecto desarrollado por estudiantes de varias universidades y artículos del proyecto metro y movilidad en Bogotá.

Como se indicó previamente el proyecto que se desarrolla es de tipo cualitativo y descriptivo ya que comprende la descripción, análisis, e interpretación de la información contenida de los procesos constructivos para identificar el más adecuado para la primera línea de Bogotá, estudiando las características básicas y la interacción con el medio.

Como complemento al proceso de investigación se realizarán recorridos dentro del el sistema de transporte desarrollado en la ciudad de São Paulo, lo cual permite recolectar la información visual que se pueda obtener de la infraestructura vial, líneas, trenes y estaciones y por ende el proceso constructivo empleado en su ejecución; posteriormente mediante una visita al centro de operaciones se indagará sobre la construcción tenida en cuenta en el desarrollo del proyecto metro.

2. MARCO DE REFERENCIA

El metro se conoce como un sistema de transporte masivo de trenes o ferrocarriles que se desarrollan en el área metropolitana de una ciudad y se conectan con las diferentes zonas ubicadas en los alrededores de esta, por medio de una red compuesta de varias líneas donde se encuentran las estaciones de embarque y desembarque de pasajeros que no están muy separadas entre sí; por lo general la red del metro se encuentra integrada con otros sistemas de transporte como el bus y el tren.

Usualmente las redes del metro se construyen subterráneas como el caso de Madrid, Buenos Aires y Santiago de Chile; sin embargo, en algunos países como Chicago y Lima se encuentran elevadas y en México y Medellín a nivel de la calle; el objetivo principal independientemente del nivel al que se encuentren construidas es el de proporcionar las características del metro como alta velocidad, capacidad y frecuencia.

La implementación y construcción del metro se relaciona directamente con la historia y desarrollo de las ciudades, ya que el principal problema que se enfrenta a nivel mundial en materia de desarrollo urbano es el transporte, el cual ha minimizado su congestión gracias a la implementación del sistema.

De esta manera, si retomamos un poco de historia nos damos cuenta de que Charles Pearson propuso en Londres abrir túneles subterráneos con vías férreas para el transporte de pasajeros con locomotoras de vapor que luego se reemplazaron por locomotoras de carbón, el tramo inicial fue el de 6 kilómetros que luego se expandieron a 20 kilómetros formando un anillo, y finalmente se lograron procesos constructivos más adecuado y líneas electrificadas, den este modo las siguientes Nueva York, posteriormente Budapest y luego se desarrolló en el continente europeo y en Norteamérica.

La mayoría de las líneas de metro se desarrollan a nivel subterráneo, en muchos lugares se le conoce como subte o Subway; sin embargo cuando el metro se decide construir elevado, se realiza sobre una estructura por lo general en concreto ubicada a una altura de cinco metros aproximadamente para no interferir con el tráfico a nivel y los vehículos deben contener un sistema que evite el ruido para no perturbar a los ciudadanos, o en su defecto el metro elevado puede desarrollarse en tubos como el caso de Praga.

Para el 2010 el mundo cuenta con 177 metros, de estos 29 pertenecen a diferentes ciudades de Estados Unidos; actualmente el metro más grande el mundo es el de Shanghai en China, el cual comprende una extensión de 428 Km, 12 líneas y 269 estaciones; a continuación se indicarán algunos proyectos metro que se han desarrollado en el mundo y han solucionado en gran medida el sistema de tránsito de su ciudad.

- **Londres, Inglaterra:** es un metro subterráneo con una extensión de 253 millas y transporte de 976 millones de personas por año.
- **Paris, Francia:** tiene 133 millas, con un diseño nouveau en sus estaciones
- **Moscú, Rusia:** la predominancia del sistema es subterráneo; sin embargo, dos líneas van aéreas con el fin de permitir una vista al río moskvá, cubre 178 millas con 12 líneas y 172 estaciones transportando 3.2 billones de pasajeros al año.
- **Madrid, España:** recorre 141 millas con la mayor densidad urbana.
- **Tokio, Japón:** presenta una buena integración con el tren y triparta 2.8 billones de personas al año por 282 estaciones.
- **Nueva York, Estados Unidos:** transporta 4.9 millones de usuarios por día, con un total de 490 estaciones.
- **Montreal, Canadá:** recorre 37 millas distribuidas en 4 líneas y 65 estaciones.

2.1 MÉTODOS CONSTRUCTIVOS

Por lo general existen tres métodos para realizar un metro, estos pueden ser elevados, a nivel o subterráneos, todo depende de las características, geotécnicas, topográficas, sociales y económicas.

Un proceso constructivo se define como una serie de acciones relacionadas entre sí para lograr un objetivo en este caso una obra la cual es una secuencia ordenada de actividades.

2.1.1 Sistema de excavación con tuneladora. Este sistema se desarrolla mediante una tuneladora compuesta por unos hidroescudos de recuperación de lodos generando una gran protección sobre los edificios adyacentes a la obra; sin embargo es importante tener en cuenta la distribución geométrica planteada tanto horizontal como verticalmente, así como la localización y dirección de los ejes y la forma y tamaño del perfil guiarán la selección del tipo de excavación.

Los túneles que se plantean por lo general son túneles doble vía con andeles laterales, los túneles NATM en metros se emplean entre las estaciones, para las estaciones, para las galerías de acceso peatonales, pozos de construcción y obras subterráneas de servicios, este método también fue empelado en la construcción del metro de Chile.

Este método de túneles sin duda representa mayor estabilidad y rendimiento para un proyecto de magnitud como el desarrollo de un sistema de transporte para una metrópolis, a continuación se podrá observar una imagen de un plano en el que representa en corte una sección del túnel que se construirá en la ciudad de Bogotá.

Dentro de las características que se conocen de los equipos, se identifica un diámetro hasta de 10 m, esta se encuentra compuesta por discos y rasquetas que rompen y remueven el lecho de roca creando un túnel que es sostenido por la misma tuneladora que avanza a presión colocando concreto en anillos que van dando la forma al túnel.

Figura 1. Tuneladora PLMB en obra.



Fuente: INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO. Diseños, producto 4: túnel [en línea] Bogotá: IDU [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: http://app.idu.gov.co/seccion_metro_ASP/MetroINFO/1linea/Tuneles/T%C3%BAneI.pdf>.

El TBM, es un método para la excavación de túneles empujada por maquinaria llamada topes las cuales son robustas que funcionan empujando el terreno contra unos discos de meras dura que producen la rotura del terreno de tal forma que la roca se parte, este equipos se sostiene mediante unos codales transversales en el suelo, estas siglas indican Tunnel Boring Machine.

2.1.2 Sistema de excavación Cut and Cover / corte y cobertura. Es un sistema de excavación a cielo abierto que por lo general encuentra diferentes obstáculos, como una zona urbanizada recientemente y poco espacio superficial.

Es ideal cuando en el terreno se prevén grandes asentamientos en los edificios cercanos, existe un riesgo de cabeceo del equipo, y se pueden generar deformaciones en las estaciones, por lo tanto se define construir unas pantallas continuas forradas al interior y con unos módulos de apoyo 1 de cada 3, los cuales deben profundizarse a un terreno más rígido.

De esta manera se recomienda que las estaciones serán construidas por el método de la pantalla con unos apuntalamientos en la losa superior e inferior, en la siguiente imagen se pueden visualizar las profundidades a las que se tiene previsto llegar con este sistema y el corte de la sección a ejecutar.

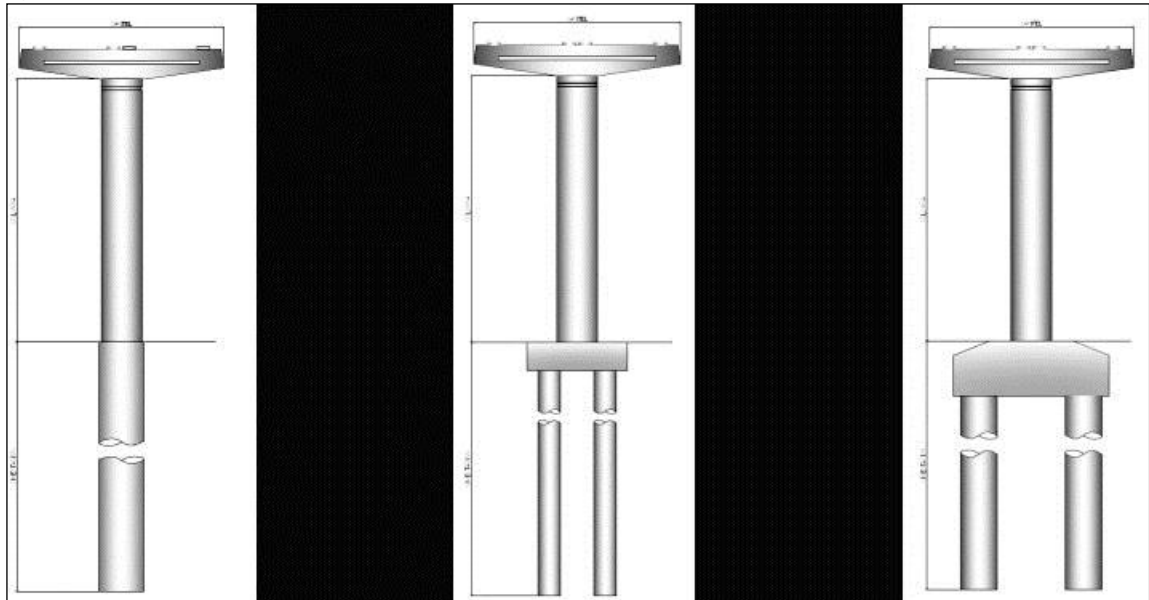
2.1.3 Método constructivo elevado. El proceso constructivo que se desarrolla para el metro elevado, es similar a un viaducto convencional en concreto o estructura metálica, se deben estimar las cargas a transmitir al suelo y de la misma manera realizar todo el proceso de cimentación requerido.

Por lo general el metro elevado se desarrolla con piezas prefabricadas que componen la subestructura y superestructura, una de las ventajas de este método es que no requiere túneles, ni remoción de grandes volúmenes de material, adicionalmente tampoco se presenta grandes interferencias con las redes de servicios públicos.

Sin duda alguna este método es el sistema más sencillo y rápido de construir un sistema de transporte siempre y cuando se cuente con el espacio requerido para el desarrollo del proyecto.

Generalmente sobre una subbase de concreto se embebe el elastómero que rodea y fija el carril y sobre esta losa se dispone el acabado final para la vía, en la siguiente imagen se pueden observar diferentes elementos que hacen parte de la subestructura de un proyecto elevado.

Figura 2. Subestructura metro elevado.



Fuente. El metro de la Ciudad de México [en línea] México: La empresa [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: http://www.mexicocity.gob.mx/blog_e/?attachment_id=181>.

2.1.4 Método constructivo superficie. No es común observar el desarrollo de proyectos de transporte de este nivel en la superficie, ya que genera grandes impactos en la cimentación como a nivel social y ambiental, este sistema se desarrolla cuando las condiciones de la ciudad son muy limitadas y es la única opción.

Aunque el proceso constructivo resulte un poco más sencillo o convencional, un sistema metro no puede desarrollarse en la superficie, como vemos actualmente el Transmilenio no cuenta con espacio para posibles ampliaciones del sistema dadas las restricciones del método empleado, o cual podría variar si se hubiese implementado otro sistema.

3. METRO EN SÃO PAULO, BRASIL: PROCESO CONSTRUCTIVO

Brasil es un país latinoamericano que cuenta con seis ciudades con metro: Belo Horizonte, Brasília, Puerto Alegre, Recife, Río de Janeiro y São Paulo; el metro de São Paulo cuenta con 5 líneas: la azul, verde, roja, amarilla y lila, las cuales se interconectan con el sistema de trenes y buses de la ciudad, cuentan con alrededor de 66 estaciones y 77.7 kilómetros, lo cuales transporta alrededor de 3.5 millones de pasajeros al día; sin duda alguna esta ciudad es la que más desarrollo de líneas de metro tiene en Latinoamérica.

El sistema de metro en esta ciudad se conoce como el sistema metropolitano de la ciudad de São Paulo, el cual es operado por la Compañía Metropolitana de São Paulo que se encarga de la planeación, diseño, construcción y operación del metro; esta compañía se encuentra asociada en su mayor parte con el Gobierno del Estado quien es representado por la Secretaría de Transportes Metropolitanos del Estado de São Paulo y últimamente también con la empresa privada Viaquatro quien es encargado del desarrollo de la línea amarilla.

Actualmente el metro se encuentra en expansión y se proyecta con 30 líneas para el 2030, con interconexión gratuita con la Compañía Paulista de Trenes Metropolitanos (CPTM) en las estaciones de Brás, Palmeiras – Barra Funda, Luz y Santo Amaro, de esta manera la integración de los dos sistemas alcanzaría 260 kilómetros, siendo así en el Sistema líder de América Latina.

La mayoría de estas líneas y estaciones son subterráneas, dado que la predominancia del sistema constructivo son túneles y estaciones tipo caverna que solo se conectan con el exterior en sus respectivos accesos, lo anterior con el objetivo de reducir las perturbaciones del tránsito peatonal, reducir el impacto ambiental y de urbanismo.

El proceso constructivo contemplado en São Paulo comprende la conexión del proyecto con el contexto urbano y la integración con las estaciones de transporte como los terminales entre otros; en general las líneas el metro comprenden entre 20 y 25 km de longitud desarrolladas en áreas densas que impiden la implementación y un solo sistema constructivo, por lo tanto y teniendo en cuenta los estudios técnicos y económicos se han desarrollado diferentes sistemas como sobre la superficie, aéreo o bajo tierra, dado lo anterior se ha implementado como estrategia emplear la mejor tecnología constructiva que permita la optimización de proyectos civiles y proporcione menor impacto en la superficie, a continuación describiremos los tres sistemas empleados en la ejecución de las líneas del proyecto.

3.1 METRO DE SUPERFICIE

De acuerdo con lo indicado por la compañía de metro del gobierno de la ciudad de São Paulo, desarrollar un proyecto en la superficie genera mayor impacto social entre los vecinos del proyecto generando mayores desapropiaciones de terrenos incluso llegando a superar los costos finales del mismo, además por razones de seguridad se deben realizar muros con gran altura que impidan el paso a las vías o ferrocarriles, por otro lado en este tipo de procesos se presenta falta de áreas urbanas de permeabilidad que impide el óptimo desarrollo del proyecto.

Del mismo modo construcciones de este tipo producen impactos ambientales de gran escala como la contaminación del aire, la propagación de ruidos y vibraciones, también afectan alteraciones al sistema vial, interferencia con los servicios públicos e incluso pérdidas de actividades socioeconómicas.

Por otro lado la ejecución de estas obras depende de las condiciones técnicas del proyecto y de la ruta elegida, por lo general sobre las carreteras se ubican los ferrocarriles en madera o de hormigón pretensado.

Figura 3. Línea de tren superficial.



Fuente: El Autor.

3.2 METRO ELEVADO

Del mismo modo que el desarrollo del metro sobre la superficie, este también genera gran impacto sobre el urbanismo de la ciudad, sin embargo, según lo indicado por la compañía de metro de la ciudad, existe una forma de mitigar dicho impacto como generar procesos constructivos que minimicen el tiempo de ejecución del proyecto, la implementación de trenes más ligeros que produzcan menos ruido y finalmente el tratamiento permanente de la vía que prevenga la propagación de ruidos y vibraciones.

Según la experiencia de los ingenieros paulistas que han desarrollado este proyecto, las vías empleadas para este sistema deben tener una distancia mínima de 40 metros de ancho y deben estar alejadas de los edificios cercanos con el fin de reducir los impactos de los ambientales del proyecto sobre estos.

Adicionalmente, se ha logrado identificar que los proyectos elevados generan mayores dificultades topográficas, debido a las pendientes que se pueden emplear (4 % máximo para rampas), y los radios de curva limitados que hacen esta alternativa menos viable.

Este sistema se puede realizar de tres opciones, mediante estructura metálica, concreto fundido en sitio y piezas de concreto prefabricadas, en este último caso generalmente se desarrollan dificultades en el transporte de pieza ya que se requiere mayor área de trabajo para el almacenaje e instalación de los mismos, de esta manera la mejor opción es la de función de concreto en sitio.

Figura 4. Línea de metro elevado São Paulo.



Fuente: el Autor.

Figura 5. Línea elevada metro São Paulo.



Fuente: el Autor.

3.3 METRO SUBTERRÁNEO

La ejecución de las obras de ingeniería del proyecto metro en la ciudad de São Paulo han identificado que las líneas subterráneas son las más más adecuadas para zonas que se encuentran altamente pobladas ya que generan una menor afectación sobre la superficie y reducen en gran medida los impactos ambientales y sociales por contaminación y ruido, además que no afectan en gran medida el tráfico ni el patrimonio histórico.

Dentro de este sistema existen varios métodos de construcción que se han empleado en esta ciudad como el método de trinchera o VAC, el de túneles

mineros (NATM) y finalmente el método mecanizado (TBM – Tunnel Boring Machines); a continuación se realizará una breve descripción de cada uno.

3.1.1 Método de trinchera o VAC. Este método se empleó en la mayoría de la ejecución de la primera línea del metro, la azul y se desarrolló de manera continua entre el tramo de Jabalput y Libertad, también se desarrolló parte de la línea 2, la verde, entre las avenidas 23 de mayo y Heitor Oenteado, de allí los ciudadanos paulistas también bautizaron este método como el destructivo ya que genera gran interferencia con la superficie, por lo general se emplea cuando fuertes variaciones en las condiciones geotécnicas y geológicas del suelo, su profundidad se estima hasta 20m y se realizan cuando la posibilidad de ocurrencia de un trastorno de tráfico es muy baja.

Figura 6. Construcción línea metro por método de trinchera.



Fuente: METRO DE SÃO PAULO. Trincheiras ou VCA [en línea] São Paulo: La Empresa [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.metro.sp.gov.br/tecnologia/construcao/subterraneo.aspx>>.

Los pasos a desarrollar el proceso constructivo de este método son:

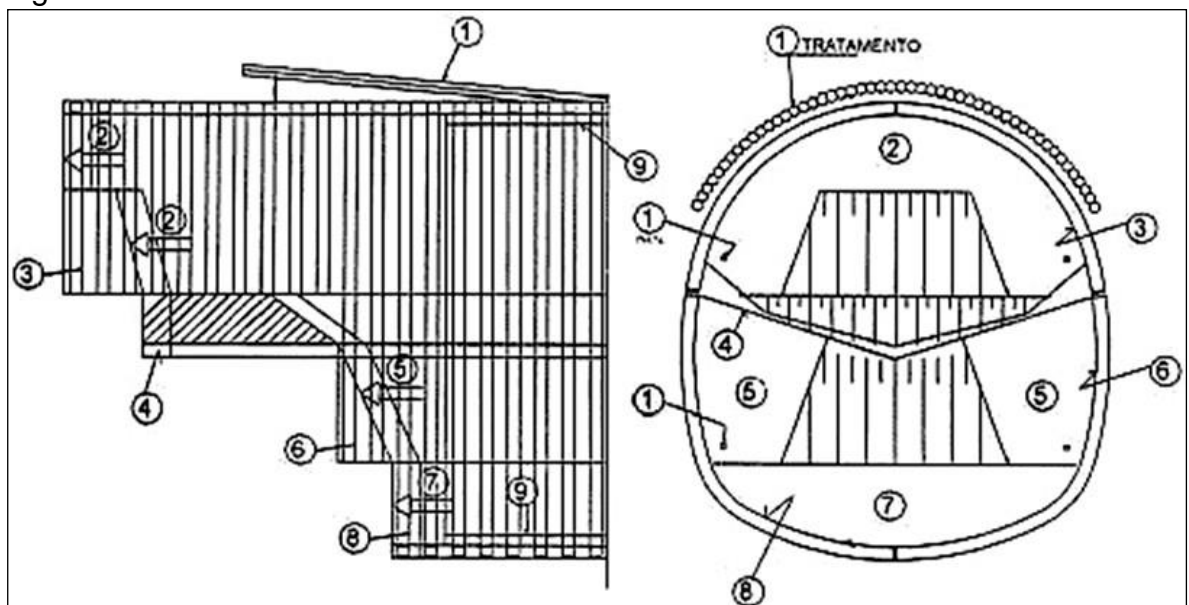
- Apertura de grandes zanja
- Anclar las pantallas o muros de contención desde la superficie
- Bajar el nivel freático de tal manera que se pueda manejar
- Construcción de elementos estructurales como muros, losa y columnas
- Finalmente rellenar.

3.1.2 Túneles mineros (NATM). Este método fue uno de los más implementados en todas las líneas de sistema, dentro de la experiencia obtenida en Brasil, se comenta que es el método más exitoso para construcción de túneles y estaciones subterráneas ya que la tecnología que implementa le permite adaptarse a las diferentes secciones de excavación requeridas por el proyecto; adicionalmente, cuando se presentan presiones hidrostáticas altas el sistema permite bajar el nivel freático y realizar una lechada de cemento para sostener mientras se ejecuta la magnitud del proyecto.

Por otro lado este sistema consiste en la excavación secuencial de masas sostenidas mediante estructuras metálicas y cubiertas de fibras de concreto evitan la deformación gradual de las tierras adyacentes.

El proceso para el desarrollo de este método se puede apreciar en la siguiente imagen en la que se encuentra el procedimiento a seguir:

Figura 7. Método constructivo NATM



METRO DE SÃO PAULO. Túneis mineiros (NATM) [en línea] São Paulo: La Empresa [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.metro.sp.gov.br/tecnologia/construcao/subterraneo.aspx>>.

- Generar tratamiento previo al terreno de excavación
- Excavar de tal manera que se avance en tramos de ½ sesión
- Instalación de formaleta y concreto proyectado
- Realizar el arco invertido provisional

- Excavar las paredes laterales
- Instalación de formaleta y concreto proyectado
- Excavación de arco invertida definitiva
- Instalación de formaleta y concreto proyectado
- Ejecutar capa de acabado.

Adicionalmente se cuenta con los siguientes detalles de la incorporación de la formaleta:

1º Etapa



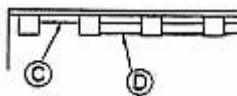
A. Aplicación de una capa de concreto proyectado sobre la superficie excavada (concreto pobre)

2º Etapa



B. Colocación de la formaleta

3º Etapa



C. Ejecución parcial de la segunda capa de concreto
D. Complementación de la segunda capa de concreto

Por otro lado se conoce que los tipos de acondicionamiento masivo más comunes son:

- Columnas suelo-cemento verticales y horizontales
- Inyección de cemento mediante tubos tubulares
- Inyección de productos químicos como aglutinantes
- Drenaje en las estructuras ejecutadas
- Fraguado
- Forepoling o avance con tablestacas de micro túneles.

Este sistema también presenta algunas desventajas como que no se puede emplear donde hay mucho tráfico y que el entrepiso se encuentre cerca de la superficie, por lo tanto este sistema se acompaña de métodos auxiliares como el uso de forepoling horizontal que se empleó en las estaciones de la avenida Paulista.

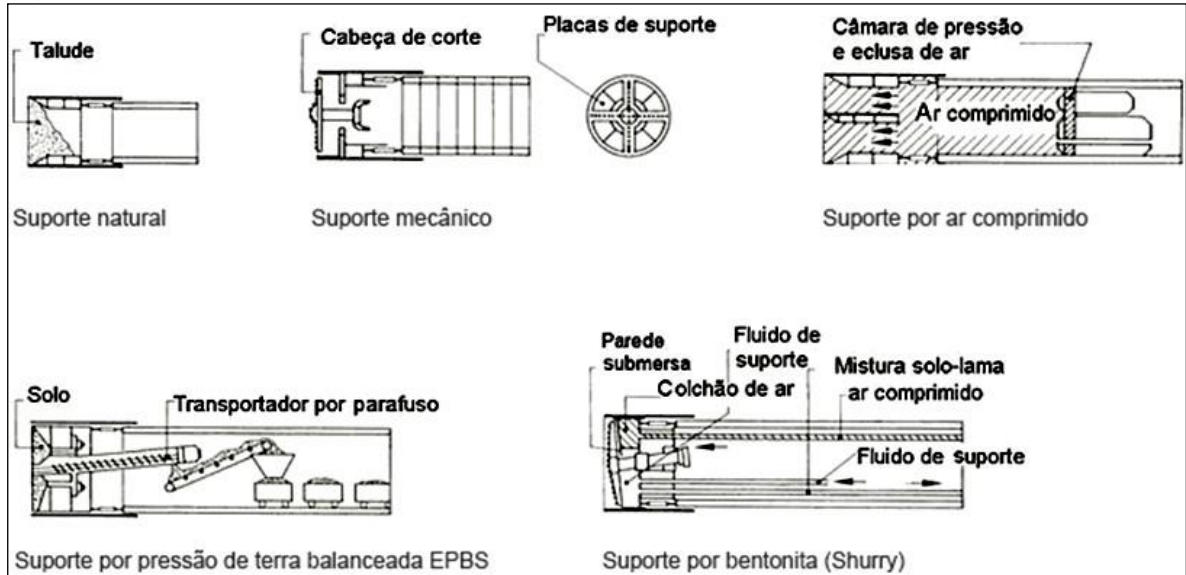
3.1.3 Mecanizado / (TBM – Tunnel Boring Machines). Este método sin duda es el más eficiente cuando de construcción de túneles se habla, fue empleado por primera vez por Marc Brenel por la construcción de un túnel debajo del río Támesis mediante corazas de metal implementadas que brindaban mayor seguridad y estabilidad a la ejecución del proyecto, además junto con este sistema se puede emplear la excavación en rocas.

El metro de São Paulo fue el primero en todo Brasil en usar tuneladoras de gran diámetro, estas se emplearon desde la ejecución de la línea 1 hasta la línea 4, esta maquinaria contempla su frente abierta o cerrada bajo la protección de una armadura, posterior a esta armadura se ubica el revestimiento prefabricado de concreto segmentado, dentro de las corazas o escudos que presentan estos equipos tenemos:

- Escudo manual (frente abierto)
- Escudo con soporte mecánico frontal
- Escudo manual con aire comprimido
- Escudo con bentonita o polímeros
- Escudo para balance de presión de tierras.

En la siguiente imagen se puede observar una representación gráfica del funcionamiento de los principales tipos de equipos mecánicos de las tuneladoras, como se puede visualizar se encuentran los portes naturales, los mecánicos, los de aire comprimido, los de soporte por presión de tierra balanceada y los de soporte por bentonita o polímeros.

Figura 8. Esquemas de funcionamiento equipos.



METRO DE SÃO PAULO. Mecanizado (TBM - Tunnel Boring Machines) [en línea] São Paulo: La Empresa [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.metro.sp.gov.br/tecnologia/construcao/subterraneo.aspx>>.

De este modo a continuación se observaran algún procesos constructivos empleados en la diferentes lianas, por ejemplo la **línea verde** desarrollada debajo de la Avenida Paulista la cual se asemeja a Avenida Séptima en Bogotá, cuenta con un proceso constructivo muy particular, ya que contempla adaptaciones a las edificaciones existentes como en dos de los edificios ubicados en las calles de Paraíso y Cardim, en los cuales se modificaron sus cimentaciones sin afectar la estructura superficial, adicionalmente esta línea pasa por debajo de la torre de la Televisión de cultura que se ubica en la avenida Doutor Arnaldo, lo que implicó la planeación detallada de la cimentación del edificio que terminó amarrando el túnel construido.

El objetivo de desarrollar estas obras de ingeniería tan complejas para la línea del metro, es el de procurar reducir los trastornos ocasionados por el tránsito local, la circulación de peatones, el impacto ambiental y urbanístico que se desarrolla a partir del proceso de desapropiación de predios, dado lo anterior los métodos constructivos que se emplearon fueron la excavación cielo abierto o por trinchera, túneles mineros (NATM), y enfilagem que es un sistema tubular inyectado de pre-excavaciones de apoyo antes de la excavación del túnel.

La **línea roja** en un principio dicha línea fue planteada subterránea en su totalidad, sin embargo, se decidió construir a nivel con el fin de aprovechar la red ferroviaria federal lo cual evitó varias desapropiaciones y optimizar el presupuesto inicialmente contemplado en un 33 % ya que la Compañía Paulista de Trenes Metropolitanos sería la encargada de modernizar el tramo de la vía ferroviaria y la

compañía del metro solo se concentraba en desarrollar la continuidad de la misma al interior de la ciudad.

Por otro lado la **línea amarilla** contempló la demolición plataformas de estaciones de la línea roja como la de la República que se requería para el paso de la tuneladora. El proceso constructivo ejecutado ejecutó durante siete años, partiendo del año 2004 y finalizando en el 2011, contemplo el aprovechamiento de los túneles empleados en el recorrido de las líneas para la construcción de los accesos a las estaciones, dividiendo su construcción en tres fases:

- Construcción de túneles y vías entre las estaciones de Luz y Vila Sonia, y entre Butana y Faria Lima, este tramo también contempla la integración con las líneas azul, roja, verde y la línea 9 de tren (CPTM).
- Construcción de 5 estaciones adicionales y la incorporación de 15 trenes nuevos, para completar 29 en total.
- Extensión de la línea para integración con ómnibus.

En la siguiente imagen que puede visualizar el proceso constructivo empleado en una de las estaciones subterráneas con única conexión en el acceso, de la línea 4 del metro de São Paulo, esta estación fue excavada mediante un sistema que permitía bajar a grandes profundidades.

Figura 9. Proceso constructivo línea 4 São Paulo



Fuente: METRO DE SÃO PAULO. Linha 4-amarela - galeria de fotos - 2014 [en línea] São Paulo: La Empresa [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.metro.sp.gov.br/obras/images/linha-4-amarela/galeria-fotos/2014/maio/maior-foto/foto-02.jpg>>.

La construcción se desarrolló por debajo de las principales vías de la ciudad como la avenida Ipiranga, Consolación Rebolledo y Francisco Morato, y cerca al río Pinheiros, lo que generó una mayor atención en el impacto constructivo y urbano del mismo que generó una reducción en costos sociales y financieros por el proceso de desapropiación.

Para la construcción del proyecto de la línea Lila se emplearon 3 tuneladoras o shields, lo cual genera alto impacto en el desarrollo reduciendo tiempo y costos en las obras ya que se pueden generar rendimientos hasta de 18 metros lineales por día.

4. CONCLUSIONES

Bogotá ha planteado un excelente sistema constructivo a implementar dadas las condiciones urbanas y técnicas estudiadas, por lo que cambiar el estudio actual sería catastrófico para el mundo de la ingeniería y de los ciudadanos no solo por el tiempo que dispondrá para rediseñarse si no por afectación ambiental a los ciudadanos.

La primera línea del metro de Bogotá debe construirse subterránea por cuestiones técnicas y económicas, de plantearse lo contrario deben realizarse todos los estudios para identificar los costos que se requieren invertir para mitigar los impactos ambientales, sociales y por la compra de propiedades que se requieren, además de cumplir con los anchos mínimos recomendados para el desarrollo de los viaductos.

Bogotá debe hacer parte de sus prioridades el desarrollo del metro ya que este genera un gran desarrollo en la ciudad, por lo tanto cualquier reproceso en el diseño o en la construcción puede generar grandes impactos en la evolución de los ciudadanos, por lo tanto una vez se inicie con el proceso de construcción de la primera línea Bogotá debe iniciar con los diseños de las siguientes, pues São Paulo teniendo 5 líneas de metro y 19 entre todos los sistemas incluyendo el tren no da abasto para la movilización de todos los ciudadanos y presentan problemas serios en el tráfico de la ciudad, por lo que proyecto a años 2030 30 líneas del sistema metropolitano.

Siempre todo proyecto que contemple la construcción de excavaciones debe contener todo un proceso para el manejo de aguas y control de nivel freático.

Las estaciones del metro que se plantea para Bogotá deben contener un enlace urbano y paisajista con la ciudad, además que debe buscar estrategias para lograr una mejor cultura de los usuarios en uso del sistema tal lo implemente el metro de São Paulo.

A pesar de que el trazado de esta línea se desarrolló en el mandato del alcalde Gustavo Petro, en la actual Alcaldía el Dr. Enrique Peñalosa, únicamente piensa modificar una parte del metro para que este sea elevado, de esta manera el trazado de la línea no sufre gran impacto; sin embargo, estos cambios han generado un tiempo de suspensión relevante en el proyecto metro.

5. RECOMENDACIONES

El proyecto metro busca mejorar la movilidad de la ciudad complementando el sistema de Transmilenio que actualmente opera en la ciudad de Bogotá, ya que es la única metrópoli con más de siete millones de habitantes que no cuenta con metro.

La primera línea que se proyecta construir de acuerdo con los estudios realizados en la Alcaldía del Dr. Gustavo Petro, cuenta con una longitud de ramal técnico de 4.5 Km y cuatro tramos que conforman una longitud de desarrollo de 27 km, se planteaba 100 % eléctrico y subterráneo, con 50 trenes en operación.

Según el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), el proyecto de la primera línea no solo solucionará la movilidad de los ciudadanos, sino que también transformará la ciudad urbanísticamente y aportará a su calidad de vida y productividad.

El proyecto cuenta con tres tipos de estaciones: en el tramo inicial predominan la estación tipo 1 desarrollada para calles con anchura mayor a 36 metros y en el tramo central a excepción de Marly y Gran Colombia que desarrollan con la estación tipo 3, las cuales presentan calles con anchuras superiores a los 26 metros, se implementa la estación tipo 2 que se caracterizan con calles de anchura mayor a 30 metros.

El trazado de la primera línea del metro de Bogotá (PLMB), parte del portal de las Américas pasando por la avenida Villavicencio, Primero de Mayo, Interconectando la Caracas en Nariño y Hortúa, siguiendo por la carrera 13 hasta la avenida Chile y finalizando en la calle 127, esta se aprobó e informó mediante los decretos 398 de 2009, 557 de 2013 y el 425 de 2014.

Adicionalmente la PLMB está dividida en cuatro tramos comprendidos entre el Portal Américas hasta la avenida 68, la avenida 68 hasta la estación de San Victorino, la estación de San Victorino hasta la estación Lourdes y desde la estación Lourdes hasta la estación calle 127; en el siguiente cuadro se pueden identificar los cuatro tramos con sus respectivos nombres y estaciones que hacen parte de cada uno:

Teniendo en cuenta lo anterior, los métodos que se han plasmado para la ejecución de la primera línea del metro de Bogotá son similares a los métodos que comúnmente se han desarrollado en las diferentes líneas del metro de São Paulo; sin embargo; sí es importante tener en cuenta que los estudios que ellos han realizado son un poco más completos y determinan todo el proceso constructivo sección a sección con el fin de minimizar la cantidad de imprevistos que se pueda ocasionar.

Por otro lado Bogotá ha realizado un muy buen trabajo en la determinación de los sistemas que se han planteado dadas las condiciones geotécnicas establecidas, es importante resaltar que este diseño se basa en experiencias internacionales que han enfrentado diferentes situaciones que improvisan dentro de la ejecución de las líneas, el sistema de tuneladora sin duda es el más recomendado por el gobierno paulista ya que se obtuvieron mayores rendimiento y una igualación en costos con el sistema en superficie dada la mitigación de impactos ambientales catastrales que se debió asumir.

El principal proceso constructivo cuando se habla de sistemas de transporte metro, es la excavación de túneles por sus grandes ventajas aunque sus costos aumenten un poco, es un error desarrollar un proyecto de transporte como el metro en la que su mayor recorrido sea superficial o elevado en una ciudad tan poblada como lo es la ciudad de Bogotá, lo que generaría sea un caos de movilidad, ambiental y catastral.

El proceso constructivo implementado para la ejecución de las líneas del metro de São Paulo redujo los impactos sociales, ambientales y económicos que se podrían generar al implementar otros procesos, la mayoría de las líneas y estaciones de este sistema se encuentran subterráneas e incluso desarrolladas entre la cimentación de diferentes edificios como la construcción de la línea roja, caracterizándose por establecer condiciones constructivas que minimizaran la gestión predial requerida por el proyecto, este también contó tecnología de punta que permitió la generación de túneles con grandes rendimientos.

Teniendo en cuenta los estudios geotécnicos y geológicos desarrollados y el trazado planteado para el desarrollo de la Primera Línea del Metro de Bogotá, se ha logrado concluir que el suelo de la ciudad es apto para excavar el túnel del metro, esta certeza también parte de las experiencias como México, Caracas, Moscú y Sevilla que presentan características similares en suelos.

Por otro lado en la visita desarrollada, el ingeniero a cargo da respuesta a la pregunta planteada por un estudiante del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Colombia en la que solicita recomendaciones para el desarrollo de la primera línea del metro de Bogotá, indicando que el principal éxito es el desarrollo de un buen diseño y planteamiento del mejor sistema constructivo, recomienda ser muy enfático en el manejo de aguas y de expropiaciones ya que fueron los problemas que mayor implicación tuvieron en el cronograma del desarrollo de proyecto, además sugiere que todo el proyecto se realice subterráneo ya que dado que Bogotá presenta características demográficas similares a las paulistas es la mejor opción.

Partiendo de la experiencia de Brasil con el desarrollo de sus diferentes líneas, los procesos constructivos empleados y el desarrollo de infraestructura de la ciudad de Bogotá considero que la PLMB debe construirse subterránea dadas las

condiciones técnicas de las mismas, los tiempos de ejecución, las posibles ampliaciones, la operación y los impactos en la ciudadanía, además Los túneles del metro de São Paulo cuentan con unas variaciones del orden de 15 milímetros, por la despresurización y acomodación del mismo logrando excelentes resultados y control de las obras; Sin embargo, en la construcción de la línea 4 – amarilla ocurrió un gran error topográfico ya que sucedió una falta de coincidencias de los túneles excavados en dos frentes, pues estos al encontrarse presentan una diferencia de 0.80 m a 1.5 m entre estos, lo cual permite recomendar para la construcción de la primera línea del metro de Bogotá la implementación de la última tecnología láser para el alineamiento de los ejes de las vías.

6. BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA DE CIUDAD DE MÉXICO. El metro de la Ciudad de México [en línea] México: La empresa [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: http://www.mexicocity.gob.mx/blog_e/?attachment_id=181>.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Primera línea de metro [en línea] Bogotá: La Empresa [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: http://web.archive.org/web/20040812035536/http://www.idu.gov.co/sist_trans/primera_linea_metro.htm>.

CASTRO RUBIANO, Fernanda. El Proceso de Planificación Territorial para la región de Bogotá Cundinamarca: seguimiento y análisis a partir de 1991 [en línea] Bogotá: Pontificia de la Salle [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/3851/T10.14%20C279p.pdf;sequence=3>>.

CELIS VERA, María Victoria y VILLALOBOS ORTIZ, María Isabel. Impacto del Sistema Integrado de Transporte Público en la productividad de la empresa Transportes Bermúdez S.A. [en línea] Bogotá: Universidad del Rosario [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: <http://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/4211/1018428880-2013.pdf?sequence=1>>.

ENCICLOPEDIA FINANCIERA. Estructura organizacional [en línea] Bogotá: La Empresa [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.encyclopediainanciera.com/organizaciondeempresas/estructura-organizacional.htm>>.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO. Diseños, producto 4: túnel [en línea] Bogotá: IDU [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: http://app.idu.gov.co/seccion_metro_ASP/MetroINFO/1linea/Tuneles/T%C3%BAnel.pdf>.

----- . Proyecto metro [en línea] Bogotá: IDU [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: http://app.idu.gov.co/seccion_metro_ASP/>.

ISAZA GUERRERO, Juanita. Conurbación y desarrollo sustentable: una estrategia de intervención para la integración regional. Caso: primer anillo metropolitano Bogotá - Sabana de Occidente [en línea] Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/223>>.

MAPA METRO. Metros de Brasil [en línea] Brasil: La Empresa [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: <http://mapa-metro.com/es/Brasil/>>.

METRO DE SÃO PAULO. Linha 4-amarela - galeria de fotos - 2014 [en línea] São Paulo: La Empresa [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.metro.sp.gov.br/obras/images/linha-4-amarela/galeria-fotos/2014/maio/maior-foto/foto-02.jpg>>.

----- . Mecanizado (TBM - Tunnel Boring Machines) [en línea] São Paulo: La Empresa [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.metro.sp.gov.br/tecnologia/construcao/subterraneo.aspx>>.

----- . Trincheiras ou VCA [en línea] São Paulo: La Empresa [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.metro.sp.gov.br/tecnologia/construcao/subterraneo.aspx>>.

----- . Túneis mineiros (NATM) [en línea] São Paulo: La Empresa [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.metro.sp.gov.br/tecnologia/construcao/subterraneo.aspx>>.

METROS DEL MUNDO. Metros en el mundo [en línea] Buenos Aires: La Empresa [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.metrodelmundo.com.ar/>>.

MORÉ JARAMILLO, Rafael Andrés y GIRET, Matthieu. Movilidad sostenible en Bogotá D.C. – caso metro Bogotá [en línea] Bogotá: Universidad el Bosque [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista_tecnologia/volumen12_numero2/5Articulo_Rev-Tec-Num-2.pdf>.

PORTAL DE BOGOTÁ. Adjudicación metro Bogotá [en línea] Bogotá: La Empresa [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: http://portal.bogota.gov.co/portel/libreria/php/x_frame_detalle.php?id=31849>.

SALAZAR BONILLA, Héctor. Condiciones especiales para el diseño y construcción del metro de Bogotá [en línea] Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería [citado: 13, may., 2016]. Disponible en Internet: <URL: http://www.metroenbogota.com/wp-content/uploads/2016/01/c-diseno_construccion_metro_bogota.pdf>.