

PASADIZOS TRANVERSALES UNA EXPERIENCIA EN VENEZUELA EN OBRAS SUBTERRANEAS

Neomar González.¹

¹*Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería.*

¹neomar8522@gmail.com

RESUMEN

En la Línea 4 del Metro de Caracas, cuyo tramo está ubicado entre las Estaciones Capuchinos y Plaza Venezuela, se construyeron 9 pasadizos transversales, los cuales en la actualidad sirven de comunicación a los túneles gemelos, vía de escape en caso de una emergencia y acceso al personal técnico o de mantenimiento del Metro. Este trabajo tiene como objetivo, dar a conocer a través del análisis, la interpretación de la normativa existente y de la tecnología utilizada, poder comprender cómo fueron ejecutadas estas galerías de conexión llamadas, pasadizos. La investigación se ha hecho a través de la recolección de datos teóricos y de campo, así como a través de los informes del proyecto. Finalmente, se presentarán las conclusiones obtenidas, del material investigado, destacando la necesidad de adoptar y perfeccionar la experiencia tecnológica adquirida, para así poder desarrollar nuestros profesionales en el campo de la Ingeniería.

Palabras Clave: Túnel, Pasadizos, Galerías, Excavación, Salidas de Emergencia Subterráneas.

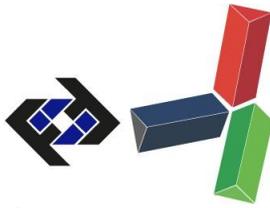
ABSTRACT

On Line 4 of the Caracas Metro, whose stretch is located between the Capuchins Station and Plaza Venezuela, 9 *pasadizos* was built, which today serve of exit escape to the twin tunnels in case of an emergency and access technical or maintenance of Metro staff. This work aims, publicize through the analysis, interpretation of existing regulations and the technology used, understand how were these galleries called *pasadizos* were built. The research was be done through theoretical data collection and of field as well as through project reports. Finally, the conclusions obtained and the investigated material will presented, highlighting the need to adopt and improve the acquired technological experience in order to develop our professionals in the field of Engineering

Keywords: Tunnel, Pasadizos, Galleries, Excavation, Underground emergency exit.

INTRODUCCIÓN

Cuando se realiza el proyecto conceptual de un pasadizo y el mismo queda a baja cobertura, la excavación del pasadizo estará considerada como una obra subterránea de alto riesgo. Si además está enmarcada dentro de la conexión entre túneles gemelos, esto incidirá en un incremento mayor de riesgo, en el momento de su ejecución. Este es el caso que nos plantea esta investigación en la obra Línea IV del Metro de Caracas, figura 1. Debemos aclarar, que la ubicación, figura 2, de dichos pasadizos está contemplada en la normativa venezolana, [4] Las Normas de Proyecto de 1990, de la Compañía Metro de Caracas, en su capítulo 21, que versa sobre Instalaciones



Subterráneas, normativa 21.2.2.1, la cual nos indica: “Los pasadizos transversales no podrán ubicarse a intervalos mayores de 300 m”. Su existencia e implantación, está contemplada en la misma norma, cuya normativa es 21.3, del mismo capítulo, que trata sobre; Salidas de Emergencia, además están contempladas en la [11] Norma Venezolana. En la praxis de la Ingeniería, la ejecución de pasadizos o galerías, se dificulta ya que su ubicación normalmente está alejada de los accesos, que pueden ser desde pozos de ventilación o *Shaft*, trincheras excavadas a cielo abierto, etc. La maniobrabilidad, manipulación operativa de los equipos pesados, se hace sumamente dificultosa en un espacio cuyo diámetro libre, por túnel, en el caso de la Línea IV del Metro de Caracas, es de 5.16 metros. La información proveniente de los Estudios Geológicos y Geotécnicos, figura [3], nos dieron la orientación hacia la definición de las metodologías y estrategias de excavación a ser implementadas en cada pasadizo. Para ello fue necesaria la identificación y el análisis de las características del suelo, mediante la recopilación de la información existente correspondiente a perfiles geológicos, sondeos cercanos, estudios geomorfológicos y de paleocauces, registro de obras anteriores y similares, así como la participación de especialistas nacionales y extranjeros. La Línea IV del Metro de Caracas, se encuentra, por el norte con la Montaña Waraira Repano y por el sur con el punto más bajo del Valle de Caracas, ocupado por el cauce del río Guaire, lo que explica que el suelo encontrado, sea un depósito de suelos sedimentarios originados principalmente por la erosión de la montaña y el arrastre de los mismos a través de las quebradas que desembocan al río, adicionalmente los que son transportados por las aguas del mismo río. Estos elementos integran un origen variado, que fueron depositándose y mezclándose en forma aleatoria dando lugar a la formación de un suelo heterogéneo, lo que hace compleja la selección de un criterio para definir su comportamiento geotécnico. Adicionalmente, estamos en presencia de niveles freáticos elevados, por lo tanto y aunado a lo anteriormente descrito sobre el suelo, se llegó a la conclusión de que era necesaria la ejecución de Métodos para el mejoramiento de las características del suelo, como fueron la consolidación del suelo con el método de *Jet Grouting*, el cual constituye un método de mejora del terreno en el cual se inyecta un fluido o lechada de cemento mediante el empleo de una alta energía que rompe la estructura del terreno para luego mezclarse con el mismo y formar un suelo mejorado. Otro método empleado fue de Micropilotes. También se desarrolló un Protocolo para la excavación llamado A.T.O, [5] (**Asistencia Técnica de Obra**), **Murakami, A. (2001). *Nociones Básicas para el acompañamiento Técnico de Obras de Túneles***. Una de las principales actividades del A.T.O, es la observación del comportamiento de la obra, que sería realizada a partir del mapeo sistemático geológico-geotécnico de los frentes de excavación, observación de las condiciones de los frentes, análisis de los resultados de la instrumentación y su correlación con la evolución de las etapas constructivas, verificación de la aplicación de los métodos constructivos, figuras 4, 5 y 6. Evaluación de las necesidades de adaptación a las eventuales modificaciones, frente a las diversas situaciones previstas en el proyecto o donde sea juzgado necesario su mejora. Adicionalmente, recordemos que Venezuela y su Distrito Capital, la ciudad de Caracas, está ligada a una geodinámica compleja debido a su ubicación en la Zona de interacción entre la Placa del Caribe y Suramérica, lo cual encuadra perfectamente en posibles eventos sísmicos potenciales. El 80% de la población venezolana vive en estas Zonas de alta amenaza sísmica, por supuesto esto aumentaba el nivel de riesgo en la obra en sus inicios y su puesta en servicio, por lo que el proyecto tomó en cuenta, como objetivo principal un criterio riguroso de diseño. Como bien lo apunta el [6] **Úcar Navarro, 1997**, en el título de un informe del cual se toma una parte en donde se puede leer: “Criterios a seguir en el Diseño de Túneles ubicados en Zonas Sísmicas...”. Esta filosofía de

trabajo, condujo al desarrollo de métodos de diseño, es decir, Método de Deformaciones Sísmicas, que considera explícitamente las deformaciones sísmicas del suelo o roca. Todos los puntos anteriores, impulsaron al equipo del A.T.O, a tomar como prioridad el cuidado en la ejecución de la obra, de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto, el cual estaba conformado por especialistas extranjeros en su mayor parte y especializados en excavaciones subterráneas, los cuales realizaron un conjunto de labores necesarias, para el control del comportamiento de la excavación, siendo esencial tomar en cuenta desde el momento inicial de la concepción del Proyecto, hasta la total instrumentación, antes, durante y después de su ejecución y que se englobaría bajo el término de Auscultación. Como podemos observar, la construcción de túneles en suelos y en zonas urbanas, pueden incluir asentamientos o movimientos horizontales que provoquen daños y hasta colapso en instalaciones y edificaciones cercanas a la excavación, provocando lo que se conoce como subsidencias importantes. Tomemos unas notas de [7] **Gianfranco Perri, Universidad Central de Venezuela, (2002)**, el cual nos indica: “*Los Factores de seguridad de la cavidad y de la obra, serán diferentes según se trate del corto plazo (durante la construcción), o del largo plazo (durante su ejecución)*”.

Figura 1: Alineamiento de la Línea IV [1].

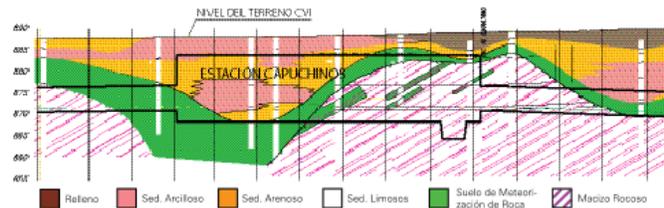


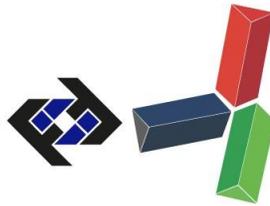
Así, como la ubicación de los pasadizos, con esta especificada en la figura 2:

Figura 2: Ubicación de los Pasadizos [1].



Figura 3. Geología [1].





METODOLOGÍA

Etapas de Excavación:

Las longitudes de los pasadizos construidos, varían desde 3 metros hasta 8 metros. Como hemos visto anteriormente, el suelo es muy heterogéneo, sin embargo, en el pasadizo N° 1 (ubicado en el cruce hacia la Av. San Martín), el método a ser utilizado para excavar fue el [3] **NATM (New Austrian Tunneling Method)**, el cual fue posible excavar en roca dura (Esquisto), figura 9. El inicio de excavación fue desde el túnel *CVD* (Capuchinos/Plaza Venezuela/Derecho), figura 9 y posteriormente desde el túnel *CVI* (Capuchinos/Plaza Venezuela/Izquierdo), figuras 7 y 8. Estas actividades, contribuyeron a generar un programa acelerado para la ejecución de los trabajos, en función de las fechas contractuales de entrega y de la logística para la construcción de los pasadizos. La existencia del piso base en el portal de los túneles, previa construcción para la colocación de los rieles definitivos, facilitó el acceso al personal obrero y a los equipos de trabajo, tales como: Retroexcavadora Case 580, miniexcavadora, camión de concreto de 7 metros cúbicos, bomba estacionaria *Aliva*, decantador, bombas de achique de 2" y 4", compresor, soldador, andamios y martillo neumático normal. Además, acometidas eléctricas, sistemas de drenajes y sistema de extracción de aire, entre otros. Se diseñó un plan de contingencia, para ser usado en caso de emergencia, que consistía en la estabilización del frente de excavación y control de agua subterráneas, por lo que antes de dar inicio a la excavación, se exigía la presencia de los siguientes materiales y equipos: Mezcla para concreto proyectado, malla electrosoldada, tubería de drenaje, filtro para retención de finos (malla de geotextil y piedra picada), sistema *DHP* (drenajes profundos para aguas subterráneas), bolsas de arena, bomba estacionaria para concreto proyectado, martillo neumático de minero *Jackleg* y herramientas menores.

RESULTADOS Y DISCUSION

Procedimiento empleado en obra para los trabajos de excavación:

a.- Estudio y revisión de la Geometría y Metodología constructivas en los planos de proyecto, figuras 4 y 5.

Figura 4. Ubicación del Pasadizo [2].

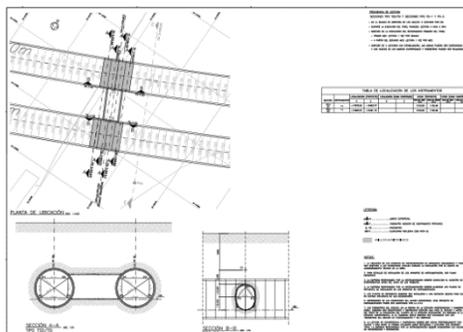
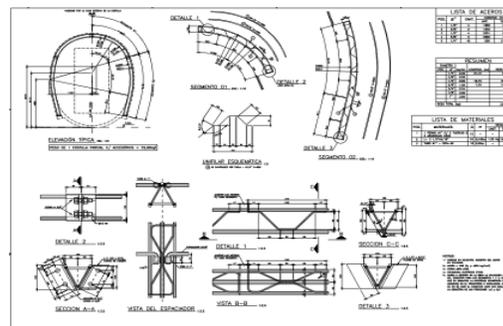


Figura 5 Detalle constructivos del Pasadizo [2].



b.- Replanteo de los pasadizos, dimensiones de abertura y micropilotes tipo paraguas, figura 6.

Figura 6. Replanteo Topográfico [2].



c.- Instalación vigas de refuerzo o estructura de apuntalamiento, en las aberturas del *CVD* y *CVI*, como refuerzo estructural, para mantener la transferencia de esfuerzos en los anillos, que fueron intervenidos parcialmente. Rotura cuidadosa de los anillos en el *CVD* con equipos perforador tipo *Core Drill*. Ingreso de los equipos de excavación.

Figura 7. Perforaciones para la excavación [9].
 [10].



Figura 9. Posición retroexcavadora [8].

Figura 8. Perforaciones ejecutadas

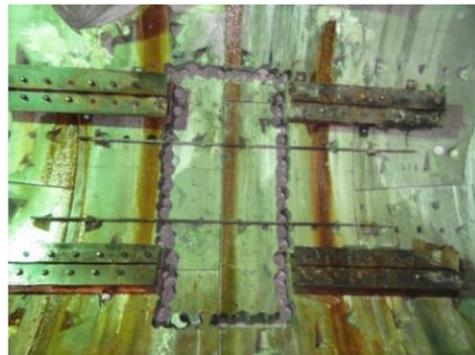


Figura 10. Cavity de la Galería [2].



d.-Instalación de drenajes, excavación y colocación de costillas, proyectado de concreto. Impermeabilización tipo submarino, figura 11, colocación de armadura definitiva, figura 12, del revestimiento final, encofrado vaciado, figura 13. Losa de base vaciado en sitio, colocación de puerta figura 13, en el centro del pasillo y entrega al Cliente bajo el protocolo de la inspección utilizando como base las [12] “Especificaciones para el proyecto y construcción de los túneles”.

Figura 11. Impermeabilización tipo submarino [8].

Figura 12. Armado del Pasadizo [8].

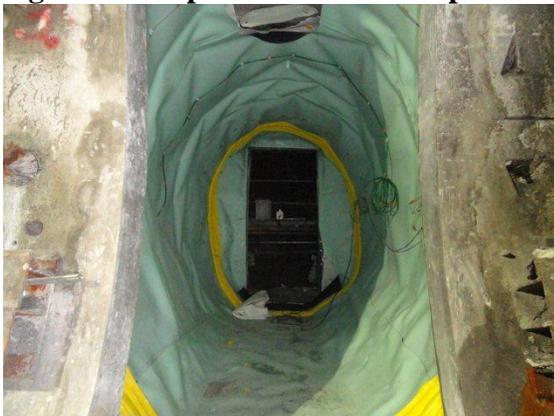


Figura 13. Revestimiento Definitivo [9].

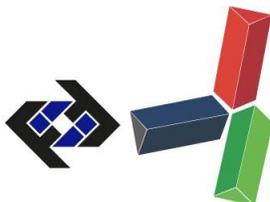


CONCLUSIONES

Se tomó el pasadizo N°1, el cual sirve de ejemplo en su ejecución y lo hemos comparado con el resto de los 8 pasadizos restantes:

CUADRO RESUMEN 1.

Pasadizo	Tipo de Suelo	Pozos de abatimiento Nivel Freático	Metodología utilizada para el mejoramiento del Suelo
0	Roca Meteorizada	0	<i>Jet Grouting</i> horizontal desde el interior del túnel.
1	Roca Meteorizada	1	Ejecución de micropilotes en forma de paraguas, sobre la clave del pasadizo y uso de refuerzo primario con costillas metálicas .Se usó el método <i>NATM</i> (New Austrian Tunneling Method)
2	Aluvión Suelo Residual	2	Ejecución de micropilotes en forma de paraguas, sobre la clave del pasadizo y uso de refuerzo primario con costillas metálicas .Se usó el método <i>NATM</i> (New Austrian Tunneling Method)
3	Grava / Arena	3	Ejecución de micropilotes en forma de paraguas, sobre la clave del pasadizo y uso de refuerzo primario con costillas metálicas .Se usó el método <i>NATM</i> (New Austrian Tunneling Method)

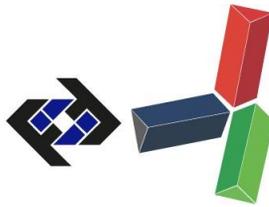


4	Grava / Arena	1	Columnas Verticales de <i>Jet Grouting</i> desde la Superficie.
5	Grava / Arena	1	Columnas Verticales de <i>Jet Grouting</i> desde la Superficie.
6	Grava / Arena	1	Columnas Verticales de <i>Jet Grouting</i> desde la Superficie.
7	Grava / Arena	1	Columnas Verticales de <i>Jet Grouting</i> desde la Superficie.
8	Grava / Arena	1	Columnas Verticales de <i>Jet Grouting</i> desde la Superficie.

CUADRO RESUMEN 2

Pasadizos	Tiempos de Ejecución	EVENTUALIDAD OCURRIDAS.
0	30 días	La ejecución no tuvo problemas.
1	90 días	Se dividió en primer tramo entre los tuneles gemelos y un segundo tramo para conectarse con el foso de Bombeo.
2	75 días	Ocurrió derrumbes de gran importancia durante el inicio de la excavación, una de las razones fue que el estudio de suelo indicaba la presencia de arcilla dura, sin embargo se encontró suelo de baja cohesión (Aluvión).
3	120 días	Los tiempos de ejecución se incrementaron debido a interferencias con servicios públicos durante la ejecución del pozo de abatimiento para el nivel freático.
4	65 días	En la etapa de la excavación ocurrió, desprendimientos de columnas de <i>jet Grouting</i> , debido a la dificultad que hubo en su ejecución por las interferencias con servicios públicos
5	120 días	En la etapa de la excavación ocurrió, desprendimientos de columnas de <i>jet Grouting</i> , debido a la dificultad que hubo en su ejecución por las interferencias con servicios públicos
6	120 días	En la etapa de la excavación ocurrió, desprendimientos de columnas de <i>jet Grouting</i> , debido a la dificultad que hubo en su ejecución por las interferencias con servicios públicos
7	110 días	En la etapa de la excavación ocurrió, desprendimientos de columnas de <i>jet Grouting</i> , debido a la dificultad que hubo en su ejecución por las interferencias con servicios públicos
8	165 días	En la etapa de la excavación ocurrió, desprendimientos de columnas de <i>jet Grouting</i> , debido a la dificultad que hubo en su ejecución por las interferencias con servicios públicos

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.



Podemos concluir que, debido al protocolo respectado en la ejecución de estas galerías, se logró: En superficie ningún tipo de incidencia que afectara, servicios, circulación vial, peatonal. Asentamientos dentro de la tolerancia exigida por el proyecto de un máximo de 5mm. Ningún tipo de incidente, como derrumbes debido a la descompresión en la excavación de los pasadizos, poniendo en riesgo vidas humanas. Ejecución de la obra dentro de los rangos de tiempo de la planificación general. Estos cuadros resumen, obtenidos de la Ingeniería de Campo versus Planificación de Proyectos de la Obra, alimentarán los datos e información estadísticos comparativos, para las futuras ampliaciones en las Líneas del Metro en la Zona Metropolitana y en especial las que dependen de la Línea IV. Además, sirve de base como experiencia previa para excavaciones Subterráneas, adyacentes a las zonas en estudio, es decir, podríamos comenzar hablando del término “*Catastro en obras Subterráneas*”, esto incidiría en la disminución del riesgo humano, infraestructuras, disminución en los costos y tiempo a la hora de la ejecución de la obra. Si se logra comprender el comportamiento del suelo y de los macizos rocosos bajo este método ejecutivo, en la región capital, esto nos permitiría aplicar las tecnologías a disposición en el mercado internacional, perfeccionando el protocolo de asistencia técnica A.T.O, hasta lograr optimizar su aplicación a nuestra realidad local / País, lo que nos conduciría en muy poco tiempo, transferir estas tecnologías a nuestros jóvenes profesionales de la Ingeniería, para así lograr enfrentar los retos que nos impone hoy nuestra sociedad Venezolana, en el transporte macizo subterráneo y por lo tanto estaremos generando valor económico, así como desarrollo para nuestro país.

REFERENCIAS

- [1] Consorcio Línea IV, C.A. Línea 4 del Metro de Caracas. Desafíos y soluciones de ingeniería en una obra de transformación urbana, (2006).
- [2] Consorcio Línea IV, C.A. Sala técnica, (2006).
- [3] Campanhã, C. (2000). «Manual Técnico. Túneles en Terrenos pocos Consistentes». Brasil.
- [4] C.A. Metro de Caracas. (1990). «Normas de Proyecto». Caracas.
- [5] Murakami, A. (2001). «Nociones Básicas para el acompañamiento Técnico de Obras de Tuneles». Brasil. Disertación presentada en la Escuela Politécnica de la Universidad de San Pablo.
- [6] Úcar, R. (1997). «Criterios a seguir en el Diseño de Túneles ubicados en Zonas Sísmicas y su aplicación en el Sistema Ferroviario Central enlace Caracas-Tuy Medio. Caracas.
- [7] Gianfranco, P. (2002). «Proyecto de Tuneles: Criterios de Diseño». Universidad Central de Venezuela.
- [8] González, N. (2004). «Ingeniero responsable de producción». Fotos tomadas en campo, pasadizo 1, Línea IV Metro de Caracas.
- [9] Figueredo, F (2004). «Ingeniería y Proyectos». San Pablo. Brasil.
- [10] Novatecna. (2004). «Ingeniería y Proyectos». San Pablo. Brasil
- [11] Normas Venezolanas. Covenin 2247-91 «Excavaciones a cielo abierto y subterráneas. Requisitos de Seguridad».
- [12] Lustrgarten y Asociados Ingenieros Consultores (1991). «Especificaciones para el Proyecto y construcción de los túneles».