

**GEOINFRAESTRUCTURA:
LA GEOTECNIA EN EL DESARROLLO NACIONAL**

**“DESAFIOS EN LA EJECUCIÓN DE LOS TÚNELES (EPBs Y NATM) DE LA
LINEA 4 DEL METRO DE CARACAS EN SEDIMENTOS PROVENIENTES DE
PALEO-CAUCES UBICADOS A LO LARGO DEL TRAMO
PLAZA VENEZUELA-PLAZA ITALIA”.**

Ing. Aluizio Bomfim Margarido¹ Ing. Francisco Centeno Pulido.² Ing. Daniel Brescia G.³

RESUMEN

La construcción de la Línea 4 del Metro en una ciudad como Caracas, representa un desafío sin igual considerando la heterogeneidad y la alta permeabilidad del subsuelo por donde discurre el trazado de dicha línea. Los frentes de trabajo deben ser planificados en base a la gran variabilidad de estos materiales, y tomando en cuenta una administración del riesgo de construcción a través de seguimientos instrumentales geotécnicos y de técnicas auxiliares, como los sistemas de abatimiento del nivel freático, el uso de drenajes y el empleo del Jet Grouting para el caso de los túneles mineros (NATM), en el tramo Plaza Italia-Capuchinos; y la utilización de un escudo tipo EPBs (Earth Pressure Balance Shield) en el caso de los túneles gemelos de la línea 4, entre las estaciones Capuchinos – Teatros – Nuevo Circo – Parque Central – Subestación Los Caobos y la estación de la Zona Rental en la Plaza Venezuela.

El gran problema a resolver ha sido el diseño y la puesta en práctica de estos dispositivos, de manera de que los costos de los mismos fuesen competitivos con el nivel de riesgo que se deseaba correr, y en base a la existencia de un subsuelo heterogéneo y con una geomorfología muy variable dominada principalmente por las terrazas aluviales del Río Guaire. Es preciso recordar que no existe una máquina (topo), tipo EPBs o TBM “todo terreno”, y que generalmente hay que utilizar las herramientas disponibles en el mercado actual de este tipo de máquinas, en función de la geología existente.

Durante la excavación de los túneles gemelos lograda con la ayuda del escudo tipo EPBs, ocurrieron dos retrasos causados por accidentes importantes, los cuales nos sirvieron de aprendizaje y de experiencia luego de haberse solucionado los mismos. El objeto principal de este trabajo es el de compartir con el lector un poco de estas experiencias vividas durante la construcción de la Línea 4 del Metro de Caracas, entre los tramos Plaza Italia - Capuchinos (NATM) y Los Caobos –Parque Central (EPBs).

¹ Gerente de Proyectos Constructora Norberto Odebrecht S.A. Brasil-Venezuela

² Ing. Responsable de la Instrumentación Geotécnica de la Línea 4 del Metro de Caracas - Venezuela

³ Ingeniero de Instrumentación por Centeno-Rodríguez y Asociados. Caracas – Venezuela

XVIII SEMINARIO VENEZOLANO DE GEOTECNIA
NOVIEMBRE DE 2004 CARACAS – VENEZUELA

GEOMORFOLOGÍA DEL TRAMO DE LA LINEA 4

La ciudad de Caracas se ubica sobre parte de la cordillera de la costa venezolana (Sistema Montañoso del Caribe), la cual se encuentra constituida principalmente por rocas metasedimentarias. En la región metropolitana de Caracas se encuentran una serie de rocas metamórficas de gran complejidad constituidas por esquistos, filitas, metareniscas, rocas de origen calcáreo, masas graníticas, cuarzitas y gneises que conforma principalmente al Valle de Caracas. El Valle de Caracas también presenta muchos materiales de origen coluvio-aluvional depositados en los primeros metros de la superficie y constituidos principalmente por gravas, arenas, arcillas y limos con combinaciones granulométricas muy variadas dependiendo de las posiciones de las quebradas y las terrazas fluviales del Río Guaire.

El trazado de la línea 4 ha sido proyectado en conjunto por el Metro de Caracas y las empresas brasileras Constructora Norberto Odebrecht y Figueiredo & Feraz. El estudio Geotécnico de la Línea 4 ha sido realizado previamente, y bajo la guía oportuna de los Ing. José Bernardo Pérez Guerra e Ing. Luis Galavís, por las empresas GIICA y PREGO. El Estudio Geomorfológico de la Línea 4, en el tramo Capuchinos - Plaza Venezuela fue realizado posteriormente, a los accidentes ocurridos y relatados en este trabajo, por la empresa Centeno-Rodríguez y Asociados, bajo la dirección del Prof. Ing. Roberto Centeno Werner, por solicitud de la empresas Constructora Norberto Odebrecht S.A.

El trazado de la Línea 4 se extiende a lo largo de las avenidas San Martín y Vicente Lecuna, entre la Plaza Italia, Los Teatros (Nacional y Municipal), El antiguo Nuevo Circo y el Parque Central; luego pasando por el Parque Los Caobos y siguiendo la ruta del Paseo Colon hasta llegar a la nueva Estación de la Zona Rental, ubicada en la Plaza Venezuela.

A lo largo de este trayecto una buena parte del alineamiento se ubica muy cerca del Río Guaire, el cual es el Río más importante y caudaloso que atraviesa de Oeste a Este la ciudad. La línea 4 atraviesa varios cursos de agua provenientes de la cara sur del Cerro el Ávila, comenzando al oeste por la Quebrada Caroata (en la urbanización el Silencio) y seguidas por las quebradas Las Tinajitas, Catuche, Cienfuegos, Anauco, Quebrada Honda, San Lorenzo, Canoas, Maripérez, Las Taparitas y Los Manolos; esta última ubicada al este de la avenida las Acacias en la urbanización La Florida.

Los planos del estudio Geomorfológico de la Línea 4 presentan un inventario muy completo de todos los cursos de agua que bajan desde el cerro El Ávila con dirección hacia el Río Guaire. En dichos planos se presenta el alineamiento de la Línea 4 y se muestran las terrazas fluviales del Río Guaire. Se pueden observar las variaciones registradas por el Río entre los años 1936 hasta la fecha, con el fin de verificar los cambios en algunos sitios del curso del Río con el paso de los años.

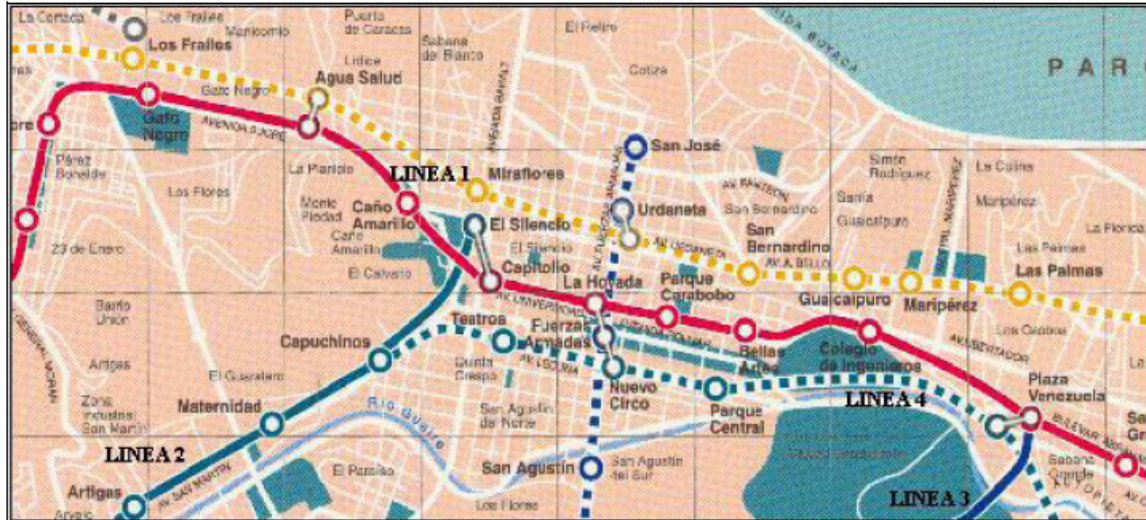
1 Gerente de Proyectos Constructora Norberto Odebrecht S.A. Brasil-Venezuela

2 Ing. Responsable de la Instrumentación Geotécnica de la Línea 4 del Metro de Caracas - Venezuela

3 Ingeniero de Instrumentación por Centeno-Rodríguez y Asociados. Caracas – Venezuela

XVIII SEMINARIO VENEZOLANO DE GEOTECNIA NOVIEMBRE DE 2004 CARACAS – VENEZUELA

En el siguiente mapa se presenta el trazado de la Línea 4 con respecto a las demás líneas en operación del tramo. La Línea 4 contempla llegar posteriormente desde la Plaza Venezuela, pasando a futuro por Bello Monte, Las Mercedes y por debajo de la Autopista Francisco Fajardo en dirección hacia el Parque del Este.



Desde tiempos muy remotos se ha observado que en la cara sur del cerro el Ávila se han producido grandes deslaves o flujos torrenciales, causados por algunas de las excepcionales precipitaciones, cuyas intensidades han llegado a superar los 100 mm/hr en procesos lluviosos que han tenido una duración superior a los 15 días.

Recientemente el día 15 de diciembre de 1999, en el estado Vargas, al norte del Cerro El Ávila y en dirección hacia la costa, según datos oficiales emanados del Ministerio del Ambiente y de otros organismos adscritos al gobierno, se registraron más de 3000 muertes e importantes pérdidas materiales, por más de 2 billones de bolívares, como consecuencia de los deslaves y de los flujos torrenciales de barro generados luego de las altas precipitaciones. También se registraron fuertes precipitaciones de agua en algunas zonas del lado sur del Cerro El Ávila, en correspondencia con las Quebradas Catuche y Anaucó, cuyos cursos llegan al Norte del Río Guaire, pasando por las cercanías a las futuras estaciones Nuevo Circo y Parque Central, respectivamente.

En el libro de 1801 “Viaje a las Regiones Equinocciales de Nuevo Continente”, escrito por el Barón Alexandre Von Humbolt, se describieron en forma clara y didáctica los depósitos aluviales, de origen torrencial, que conforman la superficie del Valle de la ciudad de Caracas.

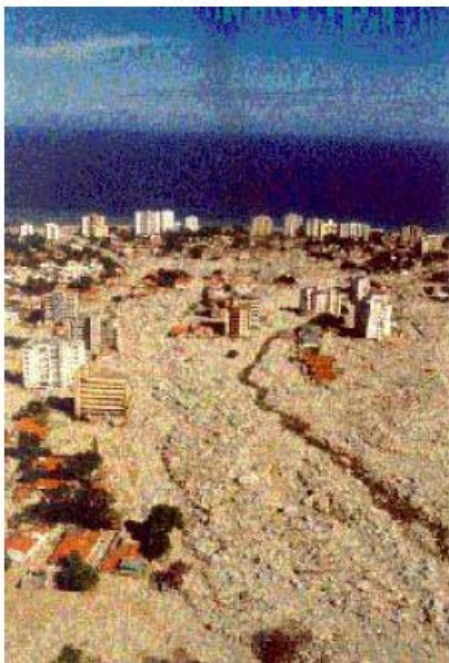
A continuación se presentan dos imágenes de los flujos torrenciales de barro ocurridos al Norte del Ávila, en las cercanías de los Ríos San Julián y Naiguatá, en el estado Vargas.

1 Gerente de Proyectos Constructora Norberto Odebrecht S.A. Brasil-Venezuela

2 Ing. Responsable de la Instrumentación Geotécnica de la Línea 4 del Metro de Caracas - Venezuela

3 Ingeniero de Instrumentación por Centeno-Rodríguez y Asociados. Caracas – Venezuela

**XVIII SEMINARIO VENEZOLANO DE GEOTECNIA
NOVIEMBRE DE 2004 CARACAS – VENEZUELA**



Aspecto de los flujos torrenciales catastróficos ocurridos en el Estado Vargas en Dic. de 1999. Río San Julián en la urbanización Los Corales y Marina del Club Puerto Azul. Río Naiguatá.

Fotos cortesía de Centeno-Rodríguez y Asociados
Ingenieros Consultores Caracas-Venezuela

Recientemente, en el trabajo publicado por el Dr. André Singer, en 1997, se describen las avalanchas torrenciales que conforman la topografía de la ciudad de Caracas. En este documento se clasifican los sedimentos por las diversas fases del deslave ocurrido como caóticos. Algunos consultores locales los denominan randómicos (Prof. Ing. José Bernardo Pérez Guerra e Ing. Luis Eduardo Galavis).

Es importante destacar que el comportamiento geodinámico de la cara sur del Cerro el Ávila tiene una notable contribución en la acumulación de suelos granulares y de rocas sobre las antiguas márgenes del Río Guaire. De aquí que en la actualidad las terrazas fluviales que se formaron puedan ser observadas por medio de simples análisis de sondeos, por las fotos aéreas tomadas a partir de los años 70, y por los estudios geomorfológicos desarrollados por la oficina Centeno-Rodríguez y Asociados, bajo la dirección del Prof. Ing. Roberto Centeno Werner.

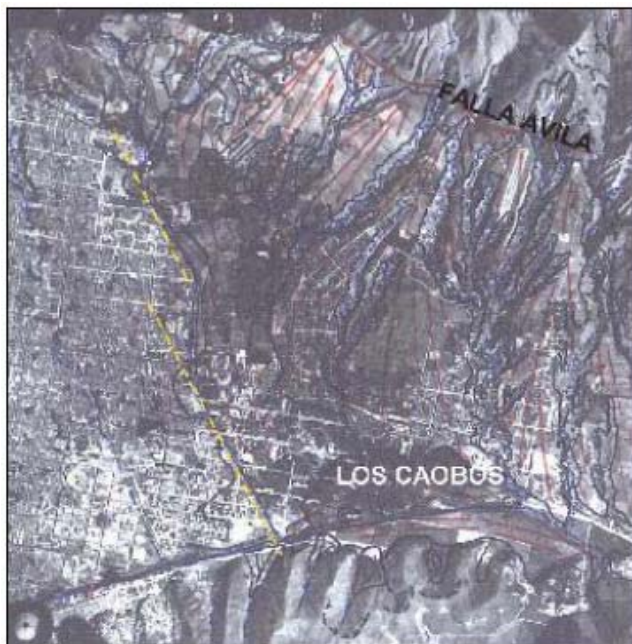
Estos depósitos han ido cambiando en cuanto a su espesor con el pasar de los años en algunos sitios cercanos al curso del Río Guaire, donde hoy en día se encuentra el Paseo Colon y donde se ejecutaron los túneles gemelos con escudo EPBs de la Línea 4. Para documentar mejor este comentario, se incluye una fotografía aérea suministrada gentilmente por el Prof. Ing. Roberto Centeno Werner, del Estudio Geomorfológico de la Línea 4, la cual fue obtenida formalmente bajo permiso previo de la Dirección del Instituto Cartográfico Simón Bolívar, para poder ser analizada y reportada en dicho Estudio.

1 Gerente de Proyectos Constructora Norberto Odebrecht S.A. Brasil-Venezuela

2 Ing. Responsable de la Instrumentación Geotécnica de la Línea 4 del Metro de Caracas - Venezuela

3 Ingeniero de Instrumentación por Centeno-Rodríguez y Asociados. Caracas – Venezuela

**XVIII SEMINARIO VENEZOLANO DE GEOTECNIA
NOVIEMBRE DE 2004 CARACAS – VENEZUELA**



Caracas en 1936, Falla del Avila

TUNELES NATM

Los túneles construidos bajo la técnica NATM, se ubican solamente en el tramo Plaza Italia – Capuchinos y tienen una extensión de unos 920 m. Los mismos están siendo excavados paralelamente a la Línea 2, la cual se encuentra actualmente en operación desde 1988 y con 14 estaciones. Los túneles que van desde la Plaza Italia a la Estación Capuchinos son de una sola vía y se encuentran proyectados a cada lado del túnel doble existente. Esta ubicación influye notablemente en sus excavaciones ya que el subsuelo no se encuentra en su estado natural y el mismo fue severamente alterado durante la construcción de la línea 2, debido a la presencia de más de 190 cursos de agua. Por este motivo fue necesaria durante su construcción la estabilización previa de los suelos con la ayuda de diversos tipos de tratamientos, entre los cuales se encuentra el Jet Grouting o Chemical Churning Pile (CCP). Ver gráfica No.1.

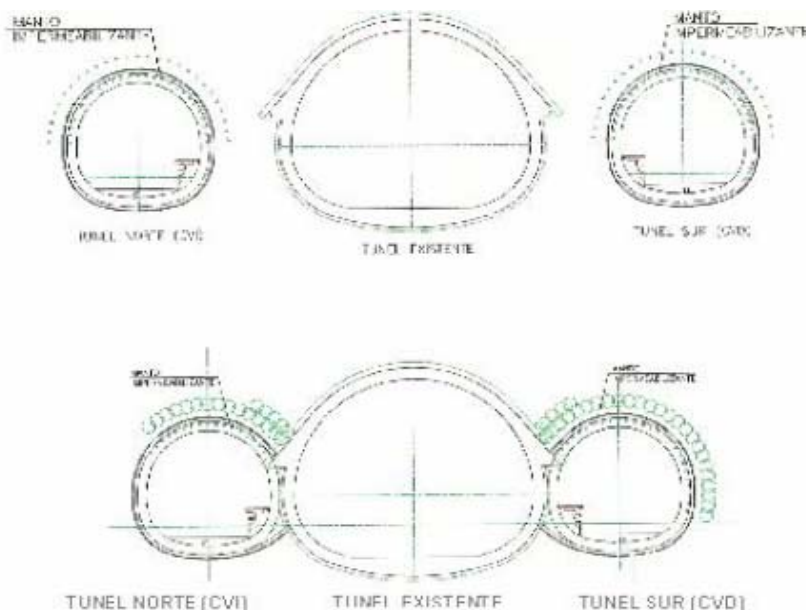
Las causas mencionadas en el párrafo anterior, sumadas a la heterogeneidad del terreno y a su alta permeabilidad, han traído como consecuencia la utilización de muchos dispositivos auxiliares, tales como drenajes horizontales profundos e inyecciones de CCPH, los cuales tienen como función minimizar el riesgo de los asentamientos y la generación de chimeneas; así como controlar la incertidumbre que se genera durante la excavación de este tipo de obras cerca de obras de vieja data. Ver gráfica No.1.

1 Gerente de Proyectos Constructora Norberto Odebrecht S.A. Brasil-Venezuela

2 Ing. Responsable de la Instrumentación Geotécnica de la Línea 4 del Metro de Caracas - Venezuela

3 Ingeniero de Instrumentación por Centeno-Rodríguez y Asociados. Caracas – Venezuela

XVIII SEMINARIO VENEZOLANO DE GEOTECNIA
NOVIEMBRE DE 2004 CARACAS – VENEZUELA



Gráfica N° 1

Existen todavía presentes en el subsuelo muchas estructuras, elementos de soporte y de estabilización, que fueron usados durante la construcción de la Línea 2 y que no fueron retirados o desactivados convenientemente luego de su empleo en el sitio. Esto ha hecho que ha medida que ha ido avanzando con las excavaciones, se han seguido encontrando algunos de estos elementos en algunos sitios, tales como fundaciones de grúas, pozos viejos provisionales que posteriormente no fueron debidamente sellados y un puente de vieja data en las cercanías de la Torre Este de Parque Central no reportado en ninguno de los planos de consulta. Esto trajo como consecuencia que se produjesen algunas fallas locales en el terreno, las cuales a su vez se comunicaron con algunos acuíferos superiores que interfirieron con el avance de los túneles gemelos durante la construcción de la L4.

Uno de los puntos favorables que presenta el subsuelo característico de este tramo, es que fueron encontradas varias inyecciones químicas realizadas durante la construcción de la Línea 2, las cuales en cierta forma ayudaron posteriormente a la estabilidad requerida en los frentes de excavación de los túneles mineros (NATM) de la Línea 4 del Metro de Caracas.

A continuación se anexan dos fotos tomadas en la parte interna de la excavación de uno de los túneles (NATM) del tramo Plaza Italia-Capuchinos, indicando la presencia de una fundación de una estructura y de un pozo no sellado.

1 Gerente de Proyectos Constructora Norberto Odebrecht S.A. Brasil-Venezuela

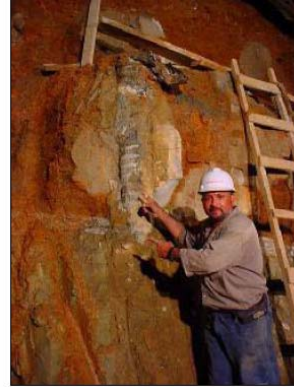
2 Ing. Responsable de la Instrumentación Geotécnica de la Línea 4 del Metro de Caracas - Venezuela

3 Ingeniero de Instrumentación por Centeno-Rodríguez y Asociados. Caracas – Venezuela

XVIII SEMINARIO VENEZOLANO DE GEOTECNIA
NOVIEMBRE DE 2004 CARACAS – VENEZUELA

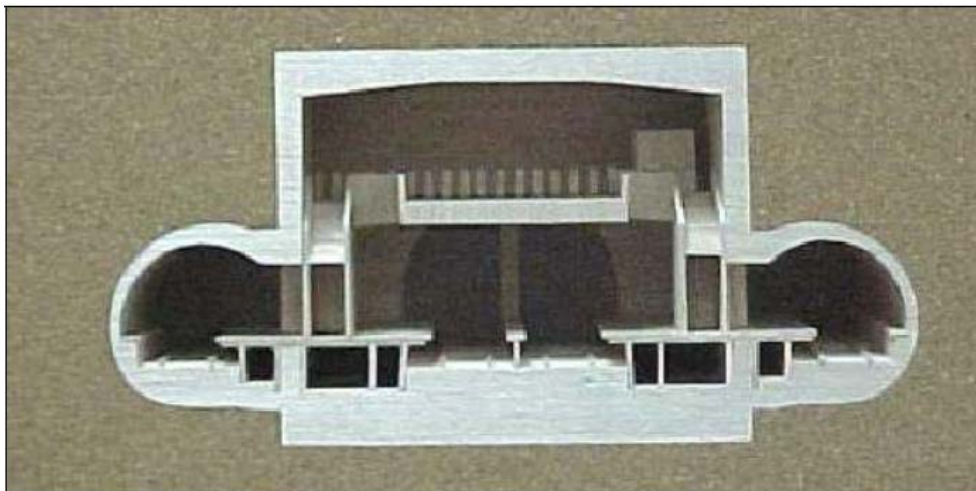


Fundación y pozo encontrado durante las excavaciones



En el tramo Capuchinos y en dirección hacia la Plaza Italia, las excavaciones fueron mucho más complicadas, debido a que estas fueron ejecutadas al lado de la estación Capuchinos (actualmente en operación) y ubicadas junto a los muros colados de la misma. La estación Capuchinos corta los flujos de agua de los puntos más altos de la ciudad para abatirlos convenientemente hasta el Río Guaire; esto genera un importante flujo de agua a lo largo de los muros colados donde actualmente se terminan de realizar las últimas excavaciones. Además del flujo de agua presente, a través del alineamiento de los túneles, también hubo que realizar algunos ajustes sobre ciertos detalles constructivos de las costillas metálicas proyectadas, en vista de la presencia del muro colado de la Línea 2.

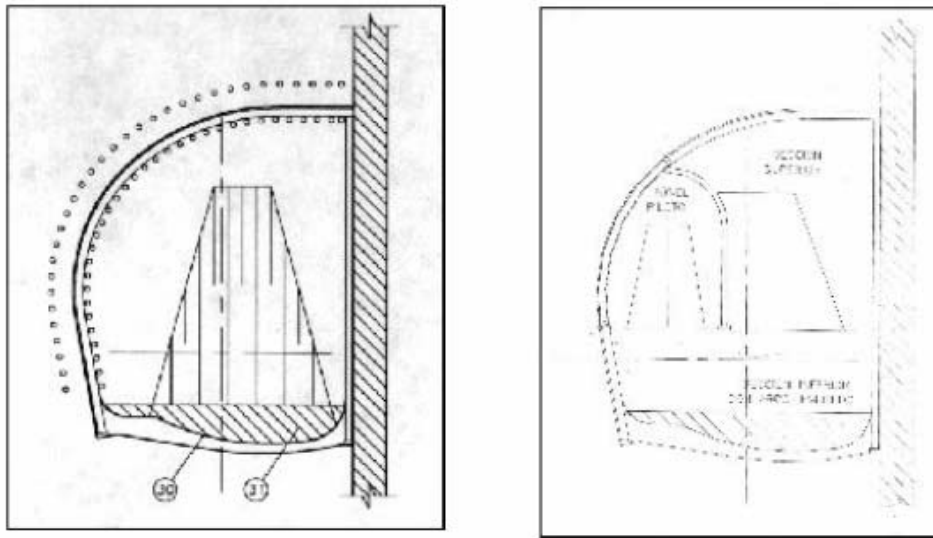
Otro punto importante que debemos mencionar es la gran cantidad de servicios públicos presentes a lo largo del trazado de la Línea 4, pertenecientes a múltiples y variadas líneas de servicio de diferentes épocas o años, los cuales durante la construcción del túnel doble de la Línea 2 fueron desplazados convenientemente hacia los laterales del mismo, justamente donde actualmente se ejecutan las excavaciones de los túneles mineros de la línea 4.



- 1 Gerente de Proyectos Constructora Norberto Odebrecht S.A. Brasil-Venezuela
- 2 Ing. Responsable de la Instrumentación Geotécnica de la Línea 4 del Metro de Caracas - Venezuela
- 3 Ingeniero de Instrumentación por Centeno-Rodríguez y Asociados. Caracas – Venezuela

XVIII SEMINARIO VENEZOLANO DE GEOTECNIA
NOVIEMBRE DE 2004 CARACAS – VENEZUELA

Debido al riesgo previsto durante la excavación del tramo Capuchinos - Plaza Italia, se procuro modificar el método constructivo con la ejecución de un “side drift” para que este túnel piloto aumentara el coeficiente de seguridad en la estabilidad del techo y en el frente de la excavación. Con esta técnica se pudo realizar una investigación geotécnica complementaria y de drenaje, que permitió determinar la cantidad de inyecciones necesarias para garantizar la estabilidad del área durante las excavaciones con el método NATM. El objetivo principal era alejarse lo mas posible del muro colado donde la colocación de las costillas hubiese sido mucho mas complicada, por la cercanía de los cortes del nuevo túnel en los alrededores de la zona donde permanecían los anclajes provisionales existentes de la fase constructiva de la estación Capuchinos.



Gráfica N° 2

Después de realizados unos veinte (20) metros de excavación en el frente del túnel minero, se decidió llevar la excavación a una media sección en los trabajos de excavación, a fin de iniciar los procesos del tratamiento con la ayuda de la tecnología CCPH y mejorar la estabilidad del cuerpo de tierra a excavar.

Debido a las dificultades registradas durante la instalación de las costillas metálicas (perfiles metálicos) próximas al muro colado de la estación Capuchinos, y sumado esto a la presencia de un lente arenoso en las cercanías del techo del túnel, y a la aparición de un flujo de agua localizado muy cerca de la clave, el cual probablemente provenía de alguna tubería de aguas blancas a presión, cercana y en mal estado, se produjo una ruptura en el techo del túnel (“chimenea”) NATM de la L4, la cual se propago hasta donde se encontraba construido el arco invertido del sistema.

En las imágenes siguientes se aprecia en detalles parte de lo comentado en los párrafos anteriores. Nótese la importante cantidad de tierra proveniente desde la superficie.

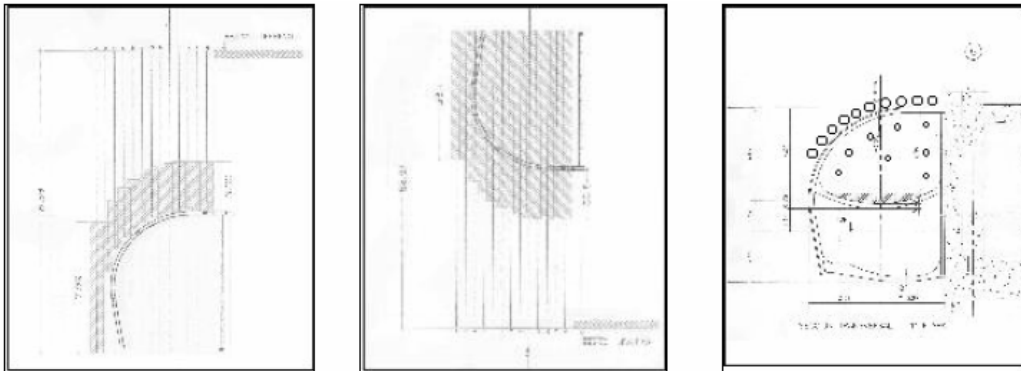
- 1 Gerente de Proyectos Constructora Norberto Odebrecht S.A. Brasil-Venezuela
- 2 Ing. Responsable de la Instrumentación Geotécnica de la Línea 4 del Metro de Caracas - Venezuela
- 3 Ingeniero de Instrumentación por Centeno-Rodríguez y Asociados. Caracas – Venezuela

**XVIII SEMINARIO VENEZOLANO DE GEOTECNIA
NOVIEMBRE DE 2004 CARACAS – VENEZUELA**



La recuperación de la “chimenea” registrada en este tramo, y el seguimiento posterior de este frente de excavación, se realizó mediante la técnica del vaciado de concreto premezclado desde la superficie; para posteriormente comprimir nuevamente el frente mediante un tratamiento previo con la ayuda de la técnica de estabilización con taladros “jet grouting verticales”.

Debido a la falta de conocimiento de la extensión de los daños, se optó por realizar segmentos de columnas con “Jet Grouting” para de esta manera contener los materiales sueltos y evitar en lo posible los deslizamientos en el frente de excavación.



Gráfica N° 3

TUNELES EN ESCUDO (EPBs) CON FRENTE DE PRESION CONTROLADA

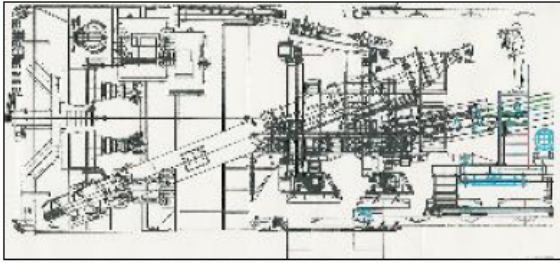
En función de la heterogeneidad de los materiales existentes en la Línea 4, y a su vez por el hecho de tener que ejecutar la excavación de los túneles gemelos en una zona altamente edificada y con servicios públicos, se optó por la adquisición de dos escudos tipo EPBs (Earth Pressure Balance shield) de 5.86 metros de diámetro cada uno. Esta es la primera vez que se usan este tipo de escudos en Caracas, ya que en las otras líneas de Metro fueron usados escudos de frente no balanceado (TBM). Los otros escudos (TBM), a pesar de trabajar más alejados del Río Guaire, presentaron también en algunas excavaciones problemas y varias rupturas, que trajeron como consecuencia la realización de inyecciones químicas, abatimiento de niveles freáticos e inyecciones de mortero.

1 Gerente de Proyectos Constructora Norberto Odebrecht S.A. Brasil-Venezuela

2 Ing. Responsable de la Instrumentación Geotécnica de la Línea 4 del Metro de Caracas - Venezuela

3 Ingeniero de Instrumentación por Centeno-Rodríguez y Asociados. Caracas – Venezuela

XVIII SEMINARIO VENEZOLANO DE GEOTECNIA
NOVIEMBRE DE 2004 CARACAS – VENEZUELA



Fotos y Gráfica del Escudo EPBs utilizado. Uso de anillos prefabricados.

Todas las otras líneas de Metro construidas en la ciudad de Caracas hasta la fecha, han sido ejecutadas por distintos fabricantes de equipos al contratado en esta oportunidad para la línea 4; siendo esta la primera obra en el subsuelo caraqueño que se hace con la ayuda de un equipo EPBs. En la actualidad ya se ejecutan en Valencia, Estado Carabobo, los túneles del Metro de Valencia con un equipo similar pero de mayor diámetro al utilizado en este tramo (9 m).

La ejecución de los primeros 600 m. ha tenido un buen desempeño, con rendimientos superiores a los esperados por la curva de aprendizaje planeada, ya que la zona era muy arenosa y las presiones de agua eran bajas, próximas a los 0.7 bares. Entre Plaza Venezuela y Los Caobos.

En resumen se obtuvo un buen rendimiento en la excavación y con un buen acondicionamiento del suelo. Se garantizó durante la construcción de los túneles, en todo momento, que el equipo trabajase con el frente balanceado al pasar por debajo de importantes estructuras, sin que se causara ningún daño a las mismas.

Al finalizar este primer tramo, se observó un excesivo desgaste en la cabeza (rueda) de corte debido al alto grado de abrasividad de las rocas encontradas durante la excavación del tramo entre la subestación Parque Los Caobos y Parque Central. Esto fue debido a la falta de previsión en el frente de discos de corte especiales para roca. Los discos que fueron dotados con la máquina original en Alemania no lograban romper los peñones de roca dura ubicados en la matriz coluvial; y como la abertura existente en la rueda de corte era pequeña, los fragmentos de roca no podían ser extraídos por el tornillo sin fin, lo que traía como consecuencia que todo este material quedase rodando en el frente de la máquina, y desgastando progresivamente de esta manera la cabeza (rueda) de corte.

Se presentan a continuación dos fotos de la cabeza frontal del equipo EPBs, donde se muestra lo indicado en el párrafo anterior.

1 Gerente de Proyectos Constructora Norberto Odebrecht S.A. Brasil-Venezuela

2 Ing. Responsable de la Instrumentación Geotécnica de la Línea 4 del Metro de Caracas - Venezuela

3 Ingeniero de Instrumentación por Centeno-Rodríguez y Asociados. Caracas – Venezuela

XVIII SEMINARIO VENEZOLANO DE GEOTECNIA
NOVIEMBRE DE 2004 CARACAS – VENEZUELA



Por lo observado en este primer tramo, el fabricante del equipo EPBs, sugirió una reforma en la cabeza en donde se incluyeron discos especiales de corte para roca dura y con una mayor abertura en las ventanas de la rueda de corte. También se hicieron refuerzos en las estructuras de acero de la cabeza de la máquina. La idea era preparar la máquina para el tramo más largo y sin posibilidades nuevamente de inspección.

En este tramo, debido al cambio de proyecto sugerido por METRO, en donde se alteraría el alineamiento vertical de la línea 4, para poder pasar por debajo de un complejo sistema de puentes y de vías de distribución de la autopista Francisco Fajardo (“Distribuidor Mohedano”), se logró profundizar mas la excavación de los túneles haciendo que aumentaran las presiones de trabajo de los equipos. Además del aumento de las presiones de tierras, y de las presiones de agua, se entro en una zona con mayor densidad de rocas y de piedras, que debido a su alto grado de abrasividad, produjeron un excesivo desgaste en la rueda de corte de la máquina.

Los rendimientos eran muy variables, con producciones diarias que variaban entre 1 y 9 anillos instalados. Existía mucha inconstancia en los parámetros de operación de la maquina. El aumento de las presiones, sumados a la pequeña cantidad de finos (menores al 7%) y a la alta permeabilidad de los materiales, no permitió un buen acondicionamiento del terreno, trayendo como consecuencia que el equipo no trabajara como un sistema EPBs debido a las constantes perdidas de presión que se generaban durante la abertura del tornillo sin fin, cuando se retiraba el material de corte de las rocas y peñones. Además, la poca cantidad de finos que eran extraídos por la máquina eran transportados dentro de la misma correa conjuntamente con agua, esto traía como consecuencia que se produjese la perdida de cimentación del frente y ello también hacía que la máquina realizara una excavación solamente en roca y en piedras sueltas produciendo un mayor desgaste en la rueda de corte.

Este fenómeno ocurrió con las dos máquinas EPBs en el tramo Los Caobos-Parque Central; y sus efectos fueron muy semejantes y trajeron como consecuencia la aparición de dos chimeneas distanciadas relativamente en la superficie del Parque Los Caobos.

1 Gerente de Proyectos Constructora Norberto Odebrecht S.A. Brasil-Venezuela

2 Ing. Responsable de la Instrumentación Geotécnica de la Línea 4 del Metro de Caracas - Venezuela

3 Ingeniero de Instrumentación por Centeno-Rodríguez y Asociados. Caracas – Venezuela

**XVIII SEMINARIO VENEZOLANO DE GEOTECNIA
NOVIEMBRE DE 2004 CARACAS – VENEZUELA**



Con las máquinas ya detenidas por la imposibilidad de seguir cortando y avanzando, como producto del desgaste, se realizaron varios intentos de entrar por la cámara para efectuar las reparaciones en las herramientas de corte, pero debido a la alta permeabilidad del terreno, la cámara se inundaba rápidamente en pocos minutos, haciendo imposible la realización de estos trabajos en condiciones atmosféricas. Con la ayuda de buzos se realizó un diagnóstico del estado de las ruedas y se concluyó que sin un acceso por el frente sería imposible reparar la rueda de corte de cada máquina. Debido a esto fue necesario programar la realización de pozos verticales (“shafts”) con la ayuda de una cortina de pilotes, para realizar la intervención en forma segura y efectiva.

Para continuar con la excavación de ambos escudos tipo EPBs, se profundizó en materia de estudios geomorfológicos y geotécnicos complementarios. También se realizaron mejoramientos de tipo mecánico en cada uno de los equipos, con el fin de poder profundizar en el alineamiento vertical y poder atravesar una zona de muchas rocas sueltas. Con la ayuda de los nuevos sondeos realizados en el terreno y con la ejecución de estudios granulométricos, se determinó que la cantidad de finos era muy pequeña para lograr un buen acondicionamiento del material, lo que llevó al fabricante del escudo a realizar varios estudios y pruebas con la ayuda de espumas y de polímeros. Se determinó la necesidad de realizar un abatimiento del nivel freático en la zona más profunda y se llevaron a cabo los niveles operacionales de la presión de la máquina EPBs de 0.8 bares a 1.9 bares, con algunas modificaciones en el equipo.



Dentro de las alteraciones mecánicas principales que se realizaron en el equipo EPBs, se encuentran la inclusión de discos de corte de roca, el cambio de los discos cortadores

1 Gerente de Proyectos Constructora Norberto Odebrecht S.A. Brasil-Venezuela

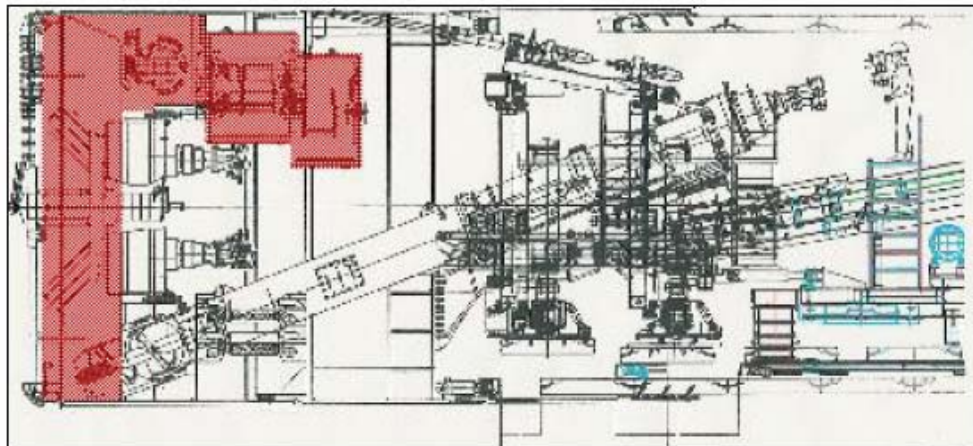
2 Ing. Responsable de la Instrumentación Geotécnica de la Línea 4 del Metro de Caracas - Venezuela

3 Ingeniero de Instrumentación por Centeno-Rodríguez y Asociados. Caracas – Venezuela

**XVIII SEMINARIO VENEZOLANO DE GEOTECNIA
NOVIEMBRE DE 2004 CARACAS – VENEZUELA**

chatos por los de tipo cónico, con el fin de aumentar la tensión de corte y el refuerzo y remodelación de todo el perímetro de la rueda de corte de la cabeza del escudo. Además de esto se instalaron cámaras hiperbáricas dentro del equipo para poder realizar intervenciones a futuro dentro del mismo, controladas con aire comprimido y con personal especializado y entrenado en estas labores. El conjunto de medidas adoptadas permitieron un mejor desempeño de los equipos EPBs en una zona de excavación geológicamente muy complicada de la ciudad de Caracas.

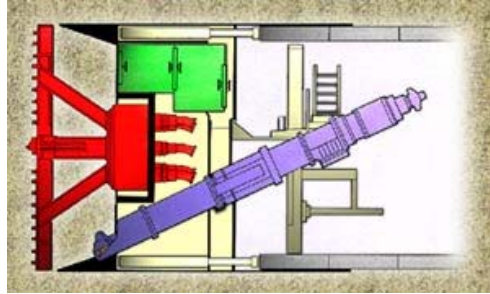
En las siguientes fotos se muestra el momento cuando se retira la rueda de corte por el pozo vertical (“shaft”) para su reparación, mejoramiento y posterior instalación, después de los refuerzos. También se indica en color rojo la zona de la cámara hiperbárica adaptada en la estructura del equipo.



Fotos y Gráfica N° 4

- 1 Gerente de Proyectos Constructora Norberto Odebrecht S.A. Brasil-Venezuela
- 2 Ing. Responsable de la Instrumentación Geotécnica de la Línea 4 del Metro de Caracas - Venezuela
- 3 Ingeniero de Instrumentación por Centeno-Rodríguez y Asociados. Caracas – Venezuela

**XVIII SEMINARIO VENEZOLANO DE GEOTECNIA
NOVIEMBRE DE 2004 CARACAS – VENEZUELA**



Gráfica N° 5

Detalle del equipo EPBs. El suelo que es cortado sirve, posteriormente al ser triturado por la máquina, de soporte al frente del escudo, cuando es comprimido con la ayuda de la aplicación de presión. En rojo se muestra el disco o la rueda de corte (cabeza giratoria).

CONCLUSIONES

Para la empresa Constructora Norberto Odebrecht S.A, la Línea 4 del Metro de Caracas ha sido su primera obra subterránea importante en la ciudad de Caracas. Hacer una obra subterránea sin tener la experiencia de la geomorfología local, y además realizar la aplicación de nuevas tecnologías para el METRO DE CARACAS, tales como el uso de un escudo tipo EPBs, las inyecciones de Jet Grouting en conjunto al método constructivo NATM, requieren de mucho estudio y de valor para alcanzar el objetivo de las excavaciones en forma segura y rápida.

Hoy en día sabemos que la implementación de estas experiencias ha sido muy buena y que una obra de esta envergadura no puede ser ejecutada sin el apoyo de geólogos-geomorfólogos y de técnicos con mucha experiencia local, además de conocer bien el entorno de los proveedores y de los subcontratistas locales.

Por parte se puede concluir de los escudos EPBs, tres puntos que hicieron la diferencia en el desempeño de este tipo de maquinas:

- 1.- Al comprar el equipo EPBs, es conveniente contratar desde el principio un servicio de asesoría técnica para la operación y el mantenimiento del sistema.
- 2.- Antes de excavar con estos equipos se debe profundizar muy bien con los estudios relativos a la abrasividad y al conocimiento previo de las cantidades de finos en el caso de un sistema EPBs, pues se ha comprobado que existe la imposibilidad de acondicionar el material con cantidades inferiores a 10% de finos.
- 3.- Tener siempre la posibilidad de acceso al la rueda o cabeza giratoria de cortes a lo largo de toda la línea, para realizar las reparaciones pertinentes en la misma. Un punto oneroso, por los costos de los servicios de apoyo, deben ser evaluados previamente y no colocar dos máquinas tipo EPBs, excavando en el mismo sentido y en un paleo valle como el de la ciudad de Caracas.

1 Gerente de Proyectos Constructora Norberto Odebrecht S.A. Brasil-Venezuela

2 Ing. Responsable de la Instrumentación Geotécnica de la Línea 4 del Metro de Caracas - Venezuela

3 Ingeniero de Instrumentación por Centeno-Rodríguez y Asociados. Caracas – Venezuela

XVIII SEMINARIO VENEZOLANO DE GEOTECNIA NOVIEMBRE DE 2004 CARACAS – VENEZUELA

Todas estas experiencias permiten inferir que es muy importante disponer de estudios geomorfológicos previos, a los estudios geotécnicos tradicionales que generalmente son realizados en forma proporcional a la longitud del trazado de las Líneas de Metro. Conocida la Geomorfología, siempre será posible tener un inventario general de las zonas más complejas de cada Línea, y se podrán profundizar, posteriormente con más detalle, los estudios geotécnicos. De esta manera cualquier contratista podrá conocer de antemano, cuales son las zonas a las que hay que dedicarles mayor esfuerzo, cuidado y control; para así garantizar el avance de las excavaciones sin retrasos.

BIBLIOGRAFÍA

Aluizio Bomfim Margarido (2004). 1º Congresso Brasileiro de Túneis e Estruturas Subterráneas. Seminario Internacional South American Tunnelling. “Desafios Na Execucao dos Túneis (EPBs e NATM) Na Linha 4 Do Metro de Caracas em sedimentos de paleo- vales. Sao Paulo, Brasil 2004.

Centeno-Rodríguez y Asociados S.C. Ingenieros Consultores, Caracas-Venezuela (2003) “Estudio Geomorfológico de aluviones torrenciales y terrazas Fluviales. Tramo Plaza Venezuela-Plaza Italia”, Línea 4 del Metro de Caracas. Abril de 2003.

Centeno-Rodríguez y Asociados S.C. Ingenieros Consultores, Caracas-Venezuela (2003) “Relación entre la suficiencia de la información preliminar geotécnica y geohidráulica de la licitación MC 2932-1998 y los siniestros ocurridos en la excavación de los túneles gemelos en el tramo Plaza Venezuela-Puente Mohedano (Parque Central) de la Línea 4 del Metro de Caracas. Septiembre de 2003.

Constructora Norberto Odebrecht S.A. (2000). “Estudios de suelo preparados por PREGO y GYCCA”, Diciembre de 2000. Láminas GL-201/R1 a GL-214/R1.

Daniel A. Salcedo (2000). “Los Flujos Torrenciales catastróficos de Diciembre de 1999, en el Estado Vargas y en el Área Metropolitana de Caracas. Características y Lecciones Aprendidas”. XVI Seminario Venezolano de Geotecnia. “Calamidades Geotécnicas Urbanas con visión al siglo XXI”. SVDG. Noviembre 7-9, 2000.

GIICA (2000). “Resultados de perforaciones efectuadas a lo largo de la Línea 4 del Metro de Caracas”.

Herrenknecht A.G.. Tunnelling Systems (2003) “Empresa fabricante de los 2 escudos tipo EPBs para la L4 de CAMETRO. Web page: <http://www.herrenknecht.com>

Ingenieros De Santis. Feliciano de Santis. (2003) “Resultados de perforaciones efectuadas en el tramo Los Caobos-Parque Central, Línea 4 del Metro de Caracas”.

Luís Galavís (1992 y 1993). “Resultados de perforaciones efectuadas a lo largo de la Línea 4 del Metro de Caracas”.

PREGO (2000). “Resultados de perforaciones efectuadas a lo largo de la Línea 4 del Metro de Caracas”.

- 1 Gerente de Proyectos Constructora Norberto Odebrecht S.A. Brasil-Venezuela
- 2 Ing. Responsable de la Instrumentación Geotécnica de la Línea 4 del Metro de Caracas - Venezuela
- 3 Ingeniero de Instrumentación por Centeno-Rodríguez y Asociados. Caracas – Venezuela