

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

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

“SEGUIMIENTO INSTRUMENTAL GEOTÉCNICO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TÚNELES GEMELOS (TBM-EPBs), TÚNELES MINEROS (NATM) Y 4 ESTACIONES DE LA LÍNEA 4 DEL METRO DE CARACAS (TRAMOS PLAZA VENEZUELA – PLAZA ITALIA – CAPUCHINOS)”

Ing. Francisco Centeno P.¹ Ing. José Salvador Pulido S.² Ing. Daniel Brescia G.³

RESUMEN

El presente artículo expone las experiencias recabadas del seguimiento instrumental geotécnico llevado a cabo durante la excavación de los túneles gemelos, con la ayuda del escudo TBM con frente balanceado tipo EPBs (Earth Pressure Balance shield), en el tramo Plaza Venezuela-Capuchinos; de los túneles tipo minero NATM (New Austrian Tunnelling Method) del tramo Capuchinos-Plaza Italia; y en las 4 estaciones pertenecientes a los diferentes tramos de la Línea 4 del Metro de Caracas, ubicadas entre la Plaza Italia y la Plaza Venezuela (E-Teatros, E-Nuevo Circo, E-Parque Central y E-Zona Rental de la Plaza Venezuela).

El trazado de la Línea 4 tiene una longitud de proyecto de 5.65 Km. aproximadamente. Su alineamiento es bastante complejo por debajo de la superficie, debido a que tiene que atravesar en su recorrido importantes zonas donde existen múltiples servicios públicos (viejos y nuevos), antiguos y recientes embaulamientos de quebradas, puentes y distribuidores viales en operación, edificaciones de altura variable con diferentes sistemas de fundación, los cuales se encuentran ubicados a lo largo del trazado y distribuidos lateralmente en las cercanías de los frentes de excavación de los túneles y de las 4 nuevas estaciones del tramo.

El alineamiento de la Línea 4 atraviesa también importantes cursos de agua, tales como quebradas y vaguadas que nacen en el cerro Ávila y que se dirigen hacia el Valle de Caracas; siendo controladas principalmente las mismas por las terrazas fluviales del Río Guaire. Debido a lo anterior, el nivel de agua subterránea juega un papel muy importante durante la excavación y las estabilizaciones temporales y definitivas de los túneles y estaciones. Es por ello que se requiere de un control instrumental geotécnico que permita en todo momento al constructor evaluar las magnitudes de los asentamientos en la superficie y en las principales edificaciones circundantes a las excavaciones, como consecuencia del proceso constructivo. Ver mapas 1 y 2.

1 Ing. Civil Geotécnico, Director del Programa de Instrumentación de la Línea 4. CAMETRO - C.N.O. – CENRODIC.

2 Ing. Civil Programador de la MACRO BASE de datos y GROUP de la Línea 4 CAMETRO – C.N.O. – CENRODIC.

3 Ing. Civil Residente de los trabajos de Instrumentación en Superficie y Túneles de la Línea 4 CAMETRO – C.N.O. – CENRODIC



Mapa 1. Ubicación de la Línea 4 del Metro de Caracas. Tramo Capuchinos-Parque del Este
Este trabajo solo contempla el seguimiento instrumental del tramo Capuchinos-Plaza Venezuela



Mapa 2. Líneas operativas, en construcción y en proyecto por C.A. Metro de Caracas

Líneas operativas hasta septiembre de 2004:

- Línea 1 entre Propatria y Palo Verde. Completa.
- Línea 2 entre Las Adjuntas y El Silencio (Capitolio) Completa.
- Línea 3 entre El Valle y La Plaza Venezuela. Completa.

Líneas en construcción:

- Línea 3 entre La Rinconada y El Valle.
- Línea 4 entre Plaza Italia - Capuchinos hasta Zona Rental de la Plaza Venezuela.
- Por Proyectar entre La Plaza Venezuela y El Parque del Este.

La contratista Constructora Norberto Odebrecht S.A (C.N.O.) escogió el sistema de excavación de los túneles gemelos, con la ayuda de los equipos TBM-EPBs, para mantener la estabilidad en los diferentes frentes de excavación, y lograr minimizar al máximo posible los asentamientos en la superficie y en las edificaciones laterales. Para lograr este objetivo, los equipos TBM-EPBs cuentan con una cabeza giratoria ubicada en el frente, dotada de herramientas de corte especiales que trituran los peñones y el material de origen coluvio-aluvional, generando una contrapresión del material excavado en el frente del escudo, para luego irlo sacando progresivamente y con la ayuda de un tornillo sin fin, hacia el vagón de carga. El material generalmente es tratado previamente dentro de la cámara de presión que se encuentra ubicada detrás del frente y dentro del escudo. El sistema permite sacar solamente la misma cantidad en volumen que se excava con la ayuda del tornillo sin fin para evitar pérdidas importantes de material en el frente.

Los asentamientos que generalmente se producen en la cola de los escudos TBM-EPBs, durante el avance que ocurre inmediatamente a la excavación y posterior colocación de los anillos de concreto prefabricados, en el espacio anular existente entre las paredes de la excavación y los segmentos de concreto prefabricados (anillos), son reducidos con la ayuda de inyecciones de lechada a presión entre 1.50 bares y 2.50 bares. Para evitar que la lechada se devuelva y salga dentro del escudo, se cuenta con la ayuda de herramientas de sellado tipo escobillas o escamas. De esta manera se dispone de un sistema cerrado y controlado que evita pérdidas de material y por lo tanto reduce el riesgo de generación de asentamientos en los diferentes frentes de excavación.

Las excavaciones de los túneles poseen una cobertura variable que oscila entre los 6 m. y 15 m. de profundidad. El diámetro de cada uno de los túneles es de 5.85 m. aproximadamente.

Se presentan en este artículo algunas experiencias importantes de como fue diseñado e implementado el sistema de control instrumental geotécnico, en conjunto con las necesidades de información requeridas por las empresas C.A. Metro de Caracas, Constructora Norberto Odebrecht S.A. (C.N.O. Brasil-Venezuela) y Figueiredo & Feraz (Brasil), para mantener informados oportunamente a los operadores, y a los distintos profesionales responsables de los diferentes frentes de excavación, sobre el comportamiento de las deformaciones del terreno en la superficie, en la periferia de cada túnel, y en los sistemas de infraestructura de las principales obras civiles circunvecinas al trazado de la Línea 4.

Se presentan algunas experiencias recabadas a partir de los sistemas de control instrumental empleados a lo largo del tramo, así como también se incluyen algunos ejemplos de la macro-base de datos que ha sido preparada por Centeno-Rodríguez & Asociados S.C., Ingenieros Consultores (Caracas-Venezuela), para suministrar en forma sencilla y rápida los resultados de la instrumentación realizada.

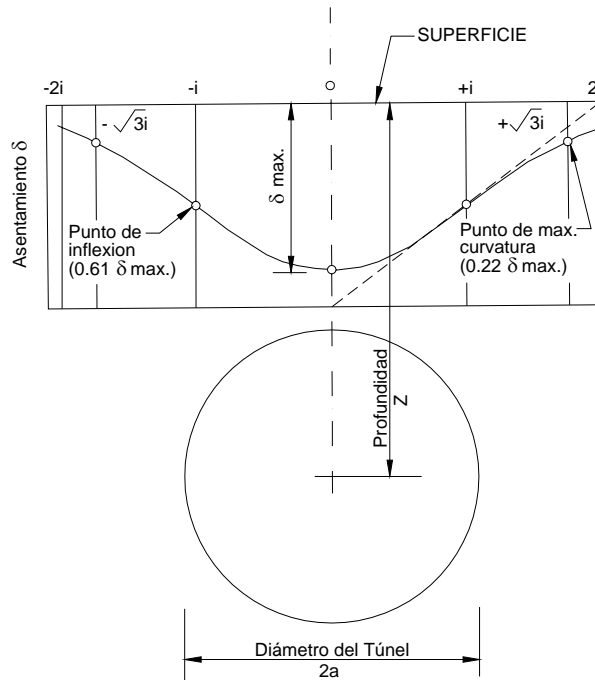
Para garantizar la transmisión oportuna de las informaciones recabadas a lo largo del seguimiento instrumental, se diseñó una dirección de correo electrónico, asociada a un sitio Web (“group”) con acceso restringido, en el cual se presentaban diariamente las diversas tendencias de las gráficas de deformación vs. el tiempo, o la tendencia de las deformaciones vs. el avance de las excavaciones. La implementación de este sistema de información “group” ha permitido a todos los involucrados en el seguimiento instrumental, poder presentar al cliente, a los operadores de los equipos TBM-EPBs y NATM, a los consultores nacionales e internacionales, y a la Inspección de CAMETRO, desde cualquier sitio remoto, el acceso completo a una base de datos, a cualquier hora del día, para que los interesados pudiesen consultar las tendencias de las deformaciones en cada uno de los instrumentos instalados con respecto al avance de las excavaciones.

La Herramienta “MACROBASE GROUP” nos ha permitido realizar, con mayor celeridad y facilidad, la transmisión oportuna de toda la data. Con este sistema ha sido posible permitir el acceso a las consultoras originales del proyecto ubicadas en Brasil, o a los integrantes profesionales y técnicos de las oficinas de campo en Venezuela, generalmente ubicadas a distancias importantes de los frentes de excavación. La Macrobase colocada en la Web, y con acceso restringido a través del correo electrónico, permitió manejar archivos con muchos datos y gráficas aprovechando las bondades de los archivos en formato tipo “pdf”. Con ésta herramienta, íntegramente diseñada en nuestro país por profesionales venezolanos, se evitaron retrasos importantes a los usuarios interesados en el acceso de la información, y se evitó tener que esperar a los horarios de oficina para realizar el procesamiento y la distribución de la data respectiva; además de garantizar un importante ahorro en tiempo y dinero al cliente.

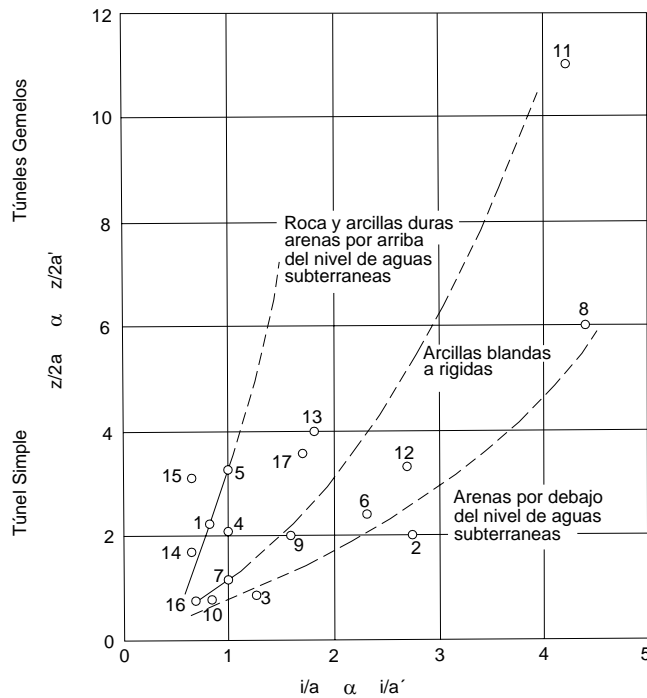
SEGUIMIENTO INSTRUMENTAL

Durante los procesos de excavación de los túneles gemelos con la ayuda del escudo de frente balanceado (TBM-EPBs) y de los túneles mineros (NATM), se generan alteraciones en el estado tensional inicial de los frentes de excavación, que se traducen en deformaciones en las cercanías de la zona excavada, tanto en la superficie, dependiendo de la cobertura, como en profundidad. La magnitud de estas deformaciones va a depender básicamente de estos tres factores:

1. Naturaleza de los materiales que son excavados. En ello juega un papel importante el poder conocer previamente el origen de los mismos con la ayuda de estudios de suelo basados a su vez previamente en estudios geomorfológicos de la zona donde ocurre el alineamiento y de las zonas laterales a dicho alineamiento.
2. Procedimiento a emplear para las excavaciones y los tipos de equipos requeridos.
3. Selección del sistema de sostenimiento del terreno (anillos prefabricados inyectados y/o revestimientos primarios con costillas de acero y secundarios con concreto proyectado y concreto armado). Esto es lo que determina la rigidez del sistema de sostenimiento–terreno y la interacción suelo-estructura.



Relación $\frac{i}{a}$ es función de $\frac{Z}{2a}$ y depende de las condiciones del suelo
 volumen de pérdida de material $\cong 2.5 \delta_{max}$.



NOTA: Números tomados de la tabla No. VI de Peck State of the Art (1969)
 $i/a = (Z_0/2a)^{0.8}$ Peck (1969)
 $i = 0.57 + 0.45 Z_0 \pm 1.01$ LEACH 1985 Attewell et all.

Gráfica 1 Estimación de asentamientos en la superficie según Peck (1969)
 Tomado del trabajo del Profesor Ing. Pedro Carrillo Pimentel. XII Seminario SVDG Pág. 115.

Durante la ejecución de las excavaciones de los diferentes túneles y estaciones del alineamiento, el único procedimiento disponible, con el cual se cuenta para determinar la magnitud de los esfuerzos y deformaciones realmente inducidas en el terreno, y de los sistemas de sostenimiento, es el seguimiento instrumental geotécnico.

Para llevar a cabo un seguimiento instrumental geotécnico confiable, hacen falta sensores sensibles y precisos, con garantía de lecturas confiables, que se encuentren ubicados estratégicamente en las zonas de influencia de las excavaciones y en las cercanías de los elementos de sostenimiento.

La finalidad de un sistema de seguimiento instrumental geotécnico consiste en controlar las deformaciones que se van produciendo durante la excavación de los túneles y de las estaciones del alineamiento de la línea de Metro. También permite observar el grado de influencia que tienen estas obras sobre el entorno existente, de forma tal de que a partir de dicho procedimiento instrumental, se puedan comprobar las hipótesis de cálculo establecidas durante la fase de diseño. Ver gráfica N°.1 en la página anterior.

Con las informaciones recabadas del seguimiento instrumental geotécnico, se comparan los valores previstos en las hipótesis de diseño. Las desviaciones observadas durante este proceso permiten a los proyectistas originales y consultores, indicar las medidas más adecuadas de corrección para evitar que se produzcan daños en el entorno existente (edificaciones vecinas, vialidad y obras del patrimonio histórico de la nación). Las magnitudes de las deformaciones registradas permiten en todo momento retroalimentar los programas de diseño en base a la metodología de elementos finitos, a fin de determinar los parámetros reales de los esfuerzos en el terreno y de los elementos de sostenimiento.

Los sensores que han sido colocados responden a un proyecto de instrumentación geotécnica que ha sido diseñado en conjunto por las empresas Constructora Norberto Odebrecht S.A. (Brasil), Figueiredo & Ferraz (Brasil) y Centeno-Rodríguez y Asociados S.C. Ingenieros Consultores (Caracas-Venezuela). El sistema de instrumentación adoptado está basado en estudios geotécnicos y geomorfológicos previos, y en base a un catastro de edificaciones circunvecinas a las obras, cuyo estado de conservación ha sido previamente evaluado antes de proceder a la ejecución de las excavaciones (túneles y estaciones de cada tramo).

Debido a las características de la obra y a la presencia de múltiples edificaciones y obstáculos, la empresa Constructora Norberto Odebrecht S.A., decidió implementar un complejo plan de instrumentación geotécnica con el fin de controlar los diferentes procesos de excavación y de resguardar la integridad de cada una de las estructuras aledañas, a esta importante obra que se desarrolla en la ciudad de Caracas. Es preciso recordar que el alineamiento de la Línea 4 del Metro de Caracas pasa por zonas muy viejas de la ciudad, como la Plaza Italia, Los Teatros y Nuevo Circo; y zonas de data más reciente como Parque Central y la Zona Rental de la Plaza Venezuela.

El seguimiento instrumental geotécnico contempla instrumentación superficial e instrumentación subterránea. Se han utilizado los siguientes sistemas de instrumentación:

Nivelación de Precisión con placa plano paralela (NP-PP) en Hitos de Terzaghi.

Consiste en la medición de asentamientos y/o levantamientos con la ayuda de puntos de referencia ubicados estratégicamente en estructuras y en sensores de tipo superficial y/o profundo. Los puntos o pernos de medición colocados en las estructuras, también se conocen como hitos de Terzaghi en honor al ilustre Profesor Karl Terzaghi. Debido a la frecuencia de mediciones, y a la cantidad de puntos instalados alrededor de las secciones propuestas, se utilizaron 2 equipos NP-PP. Esto permitió evaluar las secciones con todos los instrumentos instalados transversalmente a las excavaciones, y de los instrumentos colocados en las principales estructuras que se encuentran dentro del área de influencia de las excavaciones. Los equipos de nivelación empleados ofrecen una precisión de la décima del milímetro gracias al uso de la placa plano paralela y la mira Invar. Las referencias o BM fueron ubicadas a más de 100 metros de la zona de excavación para evitar cualquier influencia (cambio de cotas) en la toma de lecturas comparativas.

Se muestra en la figura 1a, un ejemplo de las diferentes secciones transversales de instrumentación que fueron instaladas a lo largo del tramo Plaza Italia-Capuchinos, para controlar los asentamientos alrededor de la excavación de los túneles NATM. De igual manera existen planos con secciones similares para las zonas donde se excavan los túneles TBM-EPBs. Todas las secciones poseen instrumentos de control de deformaciones en superficie y a profundidad (puntos superficiales y tasómetros), en distintas posiciones, tal y como se puede observar más adelante en la próxima página (Secciones A a C). En la sección Tipo F se incluyen adicionalmente, a los puntos de control de asentamientos, sendos piezómetros de punta porosa de tipo Casagrande para controlar el nivel freático al Norte y al Sur de las diferentes excavaciones. Ver gráfica 1b.

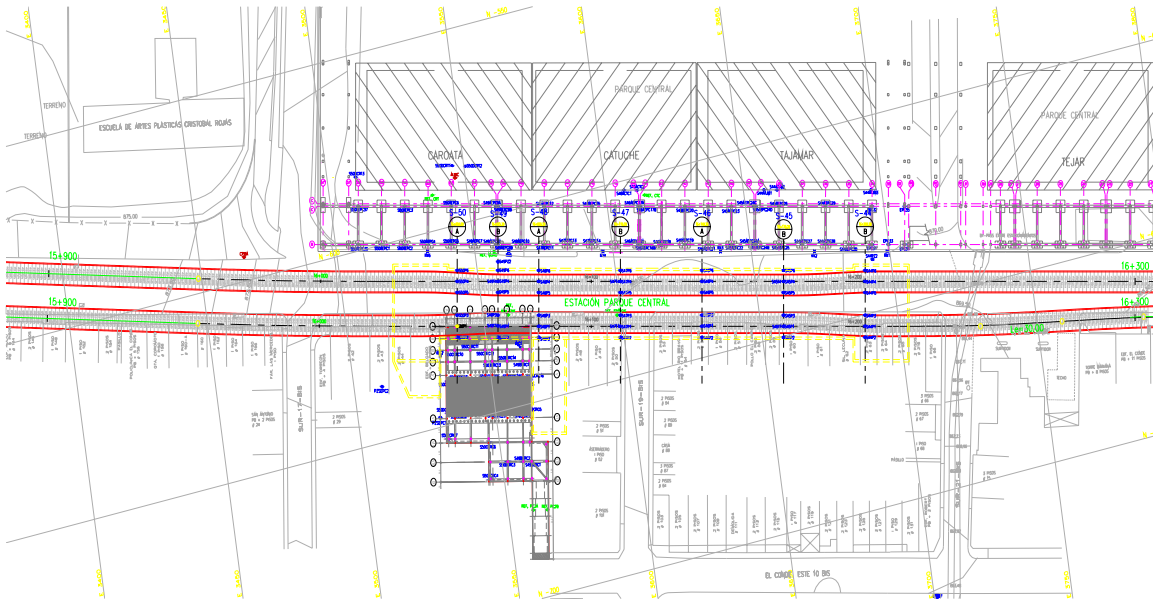


Fig.1a Ejemplo de ubicación de las secciones transversales de instrumentación y de las edificaciones con respecto al alineamiento de los túneles NATM y/o TBM-EPBs.

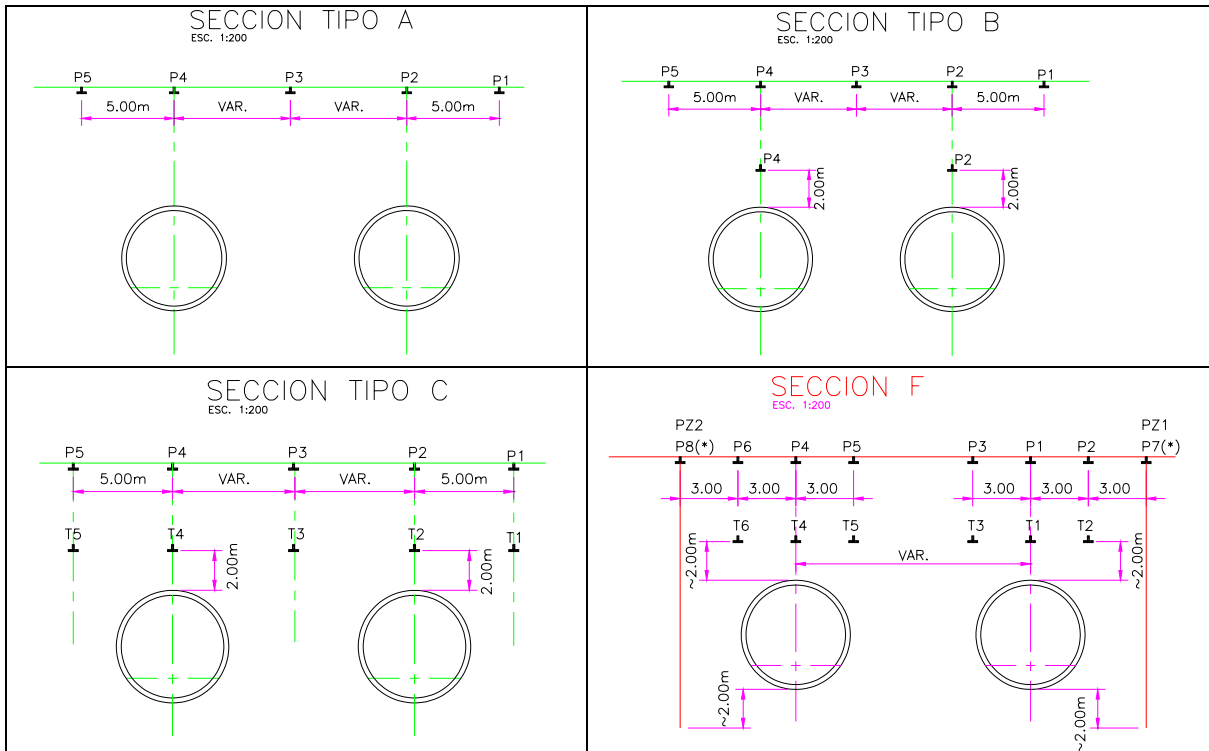


Figura N°. 1b Secciones de Instrumentación adoptadas

Las secciones van intercaladas entre sí, adoptándose el siguiente distanciamiento entre ellas:

- Secciones Tipo A Cada 40 metros
- Secciones Tipo B Entre 30 y 60 metros
- Secciones Tipo C Cada 60 metros
- Secciones Tipo F En los ejes de las Quebradas principales

Nota: Las Secciones D y E son similares a las B y C pero con tasómetros más profundos ubicados lateralmente al lado de las excavaciones de los túneles.

LECTURAS DE LA INSTRUMENTACION DE LOS TUNELES

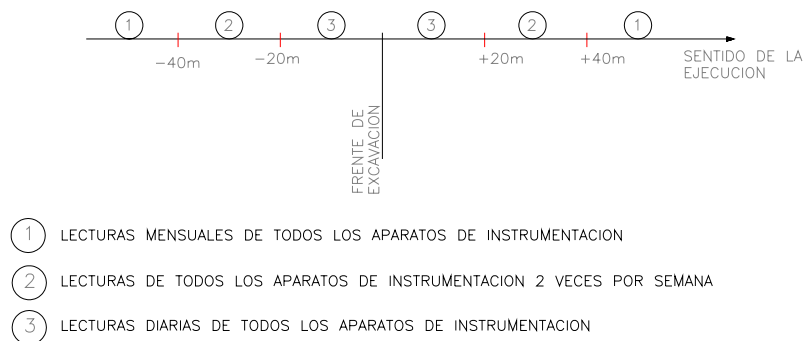


Figura N°.1c Frecuencia de medición de los instrumentos vs. las excavaciones.

Las secciones transversales generalmente poseen dos tipos de instrumentos que son los puntos superficiales y los tasómetros, los cuales detectan asentamientos o levantamientos a nivel de la superficie y a profundidades que se encuentran hasta dos metros por encima de la clave del túnel. Ver figura 1b.

Para el seguimiento instrumental de las excavaciones de los diferentes túneles se adopto, conforme a las especificaciones del proyecto, el criterio de utilizar una frecuencia de mediciones que permitiera tomar lecturas de todos aquellos puntos que se encuentran ubicados en un radio de treinta metros medidos desde el frente de cada excavación (+15m. y -15m.). Una vez que los puntos salen de este rango de separación del frente, se evalúa su comportamiento a largo plazo; y de presentar una tendencia a la estabilización, son dejados de medir, siempre y cuando la empresa encargada de las excavaciones no requiera de un mayor número de mediciones en dichos puntos.

Los detalles de construcción de cada uno de los instrumentos que se construyeron e instalaron en cada sección se presentan a continuación en la figura 2.

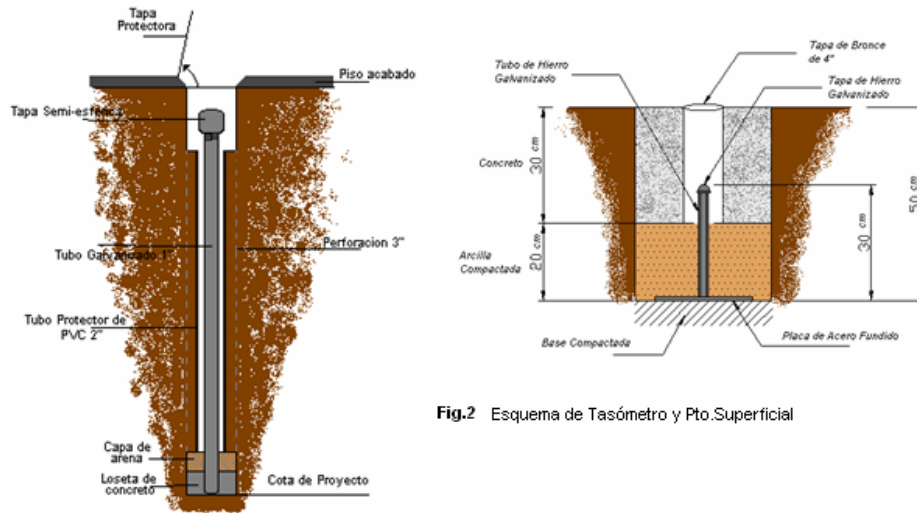


Fig.2 Esquema de Tasómetro y Pto. Superficial



Foto 1. Puntos de control utilizados en las edificaciones.
Pernos en acero y bronce para empotrar en estructuras en zonas de alto tráfico y edificaciones históricas (sin riesgo de golpes).
Pernos tipo Allen para dejar al aire libre en zonas de bajo tráfico (tienen riesgo de golpes).

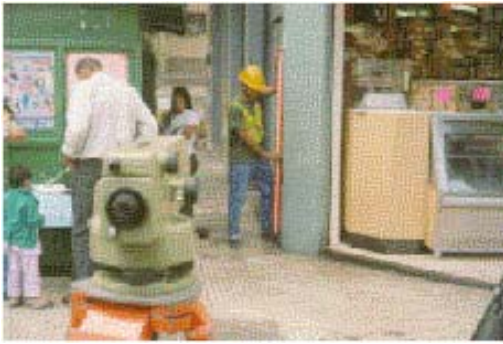


Foto 2.

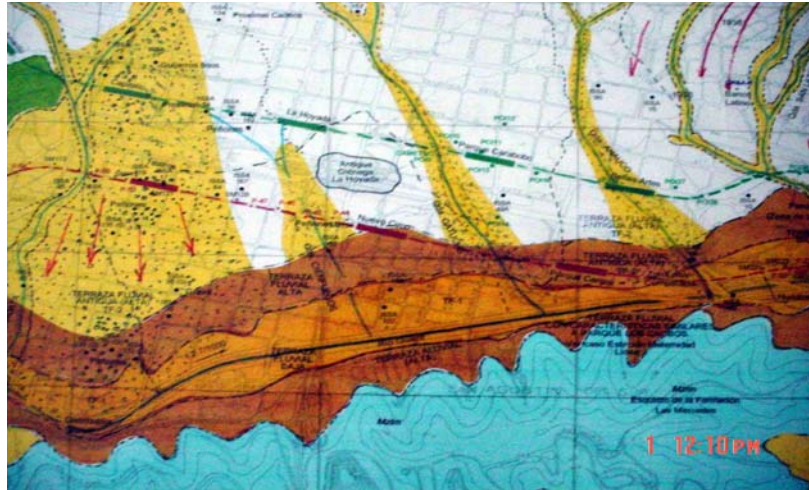
Nivelación de secciones transversales y de pernos (hitos de Terzaghi) en estructuras vecinas.



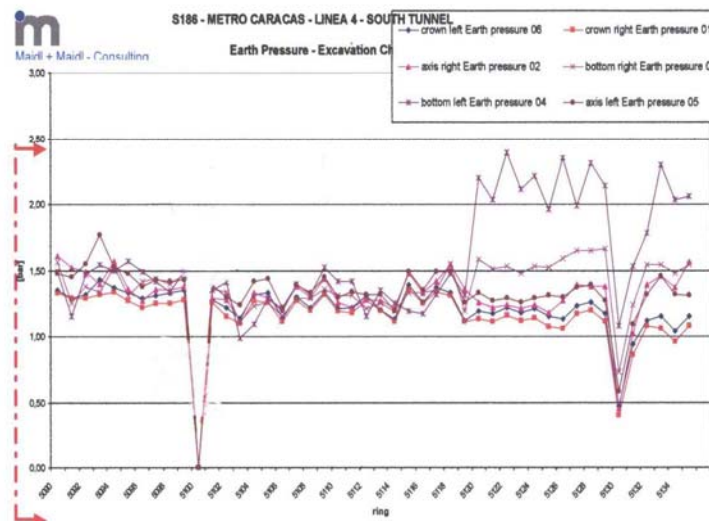
Se han instalado a la fecha (88/101) secciones de instrumentación, con puntos de control superficial (-0.50m) y profundo (tasómetros entre 8 m. y 20 m.), para un total de 1655 instrumentos, distribuidos tanto en secciones transversales al trayecto de los túneles; como en grupos de hitos (pernos) para el seguimiento instrumental de las diferentes edificaciones circunvecinas a las excavaciones de túneles y estaciones. Ver Fotos 1 y 2.

Se ha preparado una extensa base de datos con una valiosa información referente al comportamiento del subsuelo, a medida se fueron realizando las excavaciones, tanto de los túneles mineros (NATM), como de los túneles en escudo y con frente comprimido balanceado (TBM-EPBs). Esta información ha sido de gran utilidad para conocer el rango de los valores límites de las distorsiones angulares permisibles en las estructuras, y de los asentamientos diferenciales registrados en las secciones transversales, tomando en cuenta en todo momento el tipo de suelo excavado, el desempeño de los métodos de excavación y de estabilización adoptados. Por razones de espacio en la publicación de este artículo, solo se presentan algunas gráficas indicativas con los mayores asentamientos y deformaciones medidos.

Desde el punto de vista mecánico, el equipo de excavación de túneles TBM-EPBs experimentó pérdidas de presión ubicadas en el frente del escudo en algunas oportunidades; así como la rotura parcial de algunas escobillas de sellado de inyección ubicadas en la parte posterior del escudo. Debido a ello, la lechada de inyección no quedaba bien confinada en el espacio ínter anular y se devolvía hacia adentro del escudo, dejándose sin inyectar, en dichas oportunidades, el referido espacio. Se repararon adecuadamente las escobillas para poder mantener las presiones de inyección y no se siguieron registrando asentamientos significativos posteriores a ello. Desde el punto de vista geotécnico, la zona donde ocurrieron estos accidentes de las pérdidas de presión, coinciden en la zona que se encuentra ubicada entre las quebradas Anauco (Este) y Catuche (Oeste), cerca de las terrazas altas del Río Guaire, donde existen abundantes peñones y grava gruesa, alto nivel de aguas subterráneas y variable; en algunos casos por encima del frente de excavación de los túneles (abundantes suelos de origen arenolimoso). Ver Mapa 3 y Gráfica 1.



Mapa 3 Geomorfología de la Línea 4 de Cametro. Zonas de Quebradas



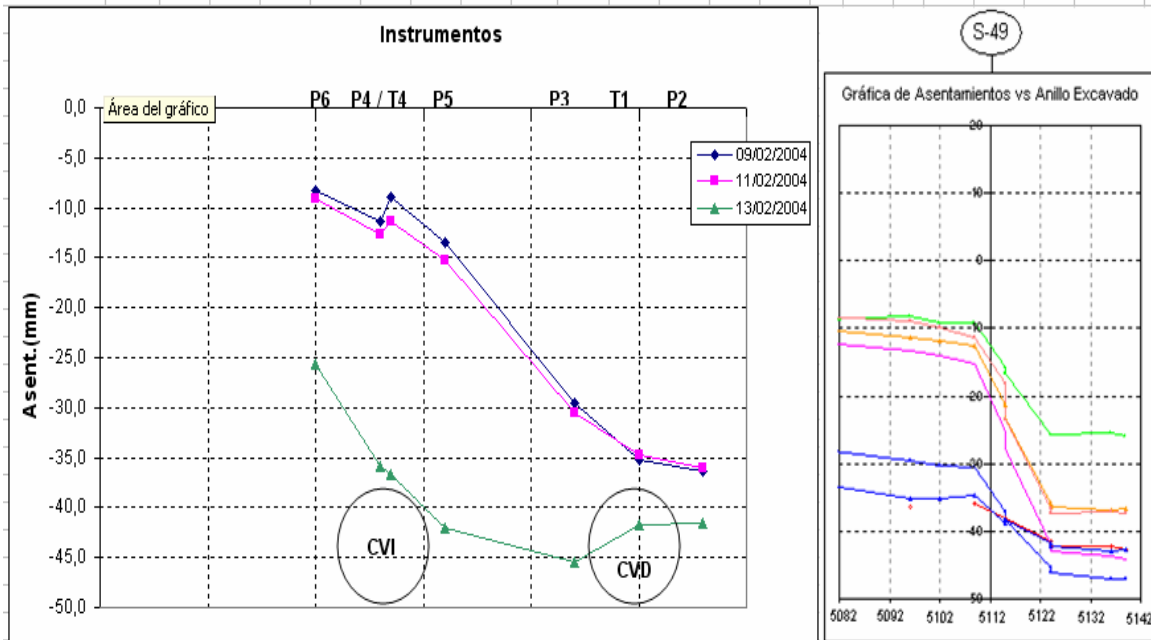
Gráfica 1. Ejemplo de Reporte de presiones vs. Avance de anillos de concreto prefabricado colocados en los diferentes sectores por la máquina Herrenknecht A.G (TBM-EPBs).

Se observaron pérdidas de presión en el frente del escudo durante dos eventos. Se reportaron asentamientos significativos en los puntos superficiales y puntos profundos (tasómetros) de la sección N°49. En la gráfica anterior se presentan las presiones reportadas en el frente del escudo TBM-EPBs (Herrenknecht-Alemania). Esta información es presentada diariamente a los Gerentes de Proyecto y Construcción de la obra por parte de los operadores de cada equipo. Se presentan también las presiones con respecto al avance y a la colocación de los anillos o segmentos prefabricados de concreto.

De igual manera se producen gráficas con la inyección del mortero (grout) con respecto al avance y a la colocación de los anillos prefabricados de concreto.



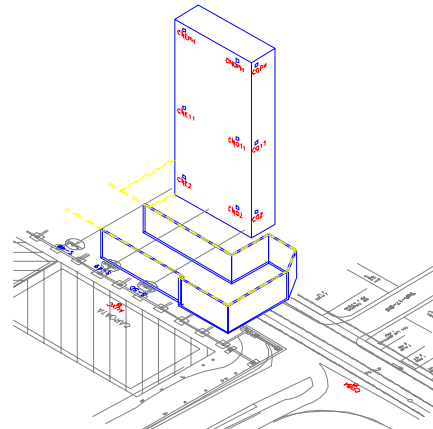
Fotos 3 y 4 Sala de control interna ubicada dentro de los TBM-EPBs Norte y Sur. Ubicada bajo tierra. Diseñada para el control de las presiones de excavación e Inyección del Grout.



Gráfica 2. Asentamientos en la sección transversal por cada instrumento (Superficial o Tasómetro) Asentamientos según el avance de las excavaciones en cada túnel.

Los asentamientos registrados en las cercanías de las excavaciones de los túneles gemelos TBM-EPBs y en la superficie en la Sección 49 (ver gráfica 2), también se registraron con la misma metodología de las nivelaciones. También se instrumentaron todas las edificaciones que se encuentra muy cerca del trazado de la Línea 4. La instrumentación en los edificios es de gran importancia para los constructores de los túneles y de las estaciones, ya que existen estructuras con diferentes sistemas de fundación, número de plantas, disposición de columnas y edades diferentes de construcción, distribuidas en zonas con litología muy heterogénea, variados niveles de agua subterránea, con respecto a la profundidad de excavación, y posicionamiento cercano a las excavaciones de las trincheras correspondientes a las futuras Estaciones de pasajeros ubicadas en Parque Central, Nuevo Circo y Teatros.

La contratista CNO previó una protección para la más alta de ellas, la cual consiste en una cortina de Jet Grouting ubicada en el intradós de la periferia del Muro Colado Sur, a ser construido por delante de la fachada Norte del Edificio CRC (frente a la futura estación Parque Central). Por otra parte se contemplaron puntales para contener los muros colados entre las diferentes etapas constructivas de la excavación, en vista de no poderse construir anclajes provisionales por la presencia de fundaciones profundas, servicios internos y la negativa del condominio a permitir la invasión de su terreno con estos elementos. Las excavaciones son acompañadas por un riguroso sistema de instrumentación para evitar cualquier daño a las edificaciones vecinas y a las instalaciones de la contratista.



Fotos 5 a 11. Proceso de verificación de la verticalidad del edificio CRC en Parque Central.

A continuación se presentan dos tablas con los criterios empíricos derivados de trabajos de investigación efectuados por expertos profesores de geotecnia entre 1956 y 1982.

Propietario: C.A. METRO DE CARACAS
 Contratista: ODEBRECHT
 Subcontratista: CENTENO-RODRIGUEZ & Asoc.
 Seguimiento: Ing. Favio E. Barajas V.
 Supervisión: Ing. Francisco Centeno P.

LINEA 4 CAMETRO
TRAMO: PLAZA VENEZUELA-PLAZA ITALIA
SECTOR: PARQUE CENTRAL
ZONA DE OBRA: CENTRO RESIDENCIAL EL CONDE
Tipo de Instrumentación: Mediciones de Verticalidad

Ref.	Temp.	Fecha	Cota de Excav.[m]	Variación en (mm)																	
				CNO2		CNO11		CNOPH		CNE2		CNE11		CNEPH		CO2		CO11		COPH	
				Cota:	Cota:	Cota:	Cota:	Cota:	Cota:	Cota:	Cota:	Cota:	Cota:	Cota:	Cota:	Cota:	Cota:	Cota:	Cota:	Cota:	
				877,60	902,30	930,20	877,60	902,30	930,20	877,60	902,30	930,20	877,60	902,30	930,20	877,60	902,30	930,20			
				X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
1	30° C	01/09/04	867,90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2	29° C	06/09/04	866,90	1,0	-0,2	1,0	-0,2	1,2	0,8	1,0	-0,2	-0,2	-1,0	2,0	-0,4	1,2	0,8	-0,8	1,2	0,4	2,0
3	28° C	10/09/04	866,40	-2,0	0,4	-1,0	0,2	-0,8	1,2	-0,2	-1,0	-2,1	-0,6	-1,2	-0,8	0,2	1,0	0,0	0,0	-1,8	1,3
4	35° C	13/09/04	866,40	-1,0	0,2	-2,1	-0,6	-3,9	0,7	-1,3	-1,8	-2,1	-0,6	-2,1	-0,6	0,0	0,0	-1,0	0,2	-1,2	-0,8
5	34° C	16/09/04	866,40	-2,9	0,5	-2,0	0,4	-1,0	0,2	-0,2	-1,0	-1,2	-0,8	0,0	0,0	-0,6	2,1	-2,2	4,5	-0,3	4,1
6	33° C	20/09/04	866,40	1,2	0,8	1,0	-0,2	0,0	0,0	0,6	-2,1	0,0	0,0	0,8	-1,2	0,4	2,0	-0,3	4,1	-0,1	5,1
7	27° C	22/09/04	866,40	0,0	0,0	0,2	1,0	-0,8	1,2	1,6	-2,3	-0,2	-1,0	1,0	-0,2	1,2	0,8	1,3	1,8	1,5	2,8
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					

OBSERVACIONES: 1) EL INSTRUMENTO DE MEDICION TIENE UNA CAPACIDAD DE APRECIACION DE 3 SEG, LO QUE GENERA UNA POSIBLE VARIACION DE ± 1,2mm EN 80m DE DISTANCIA APROXIMADAMENTE. 2) COTA DE LA VIGA CORONA DE LA ESTACION 869,40 (PORTAL OESTE)

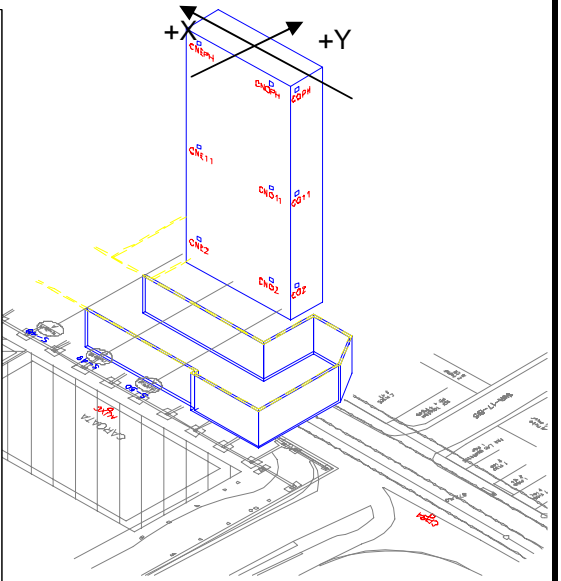
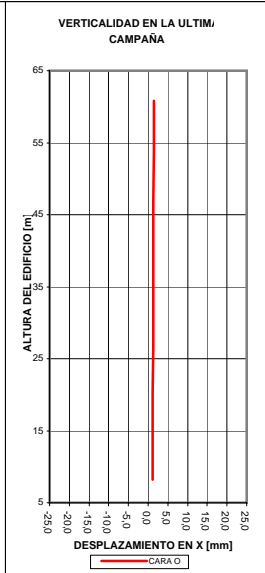
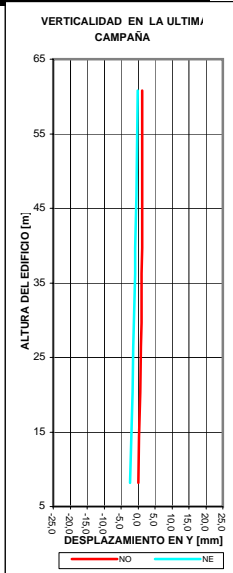
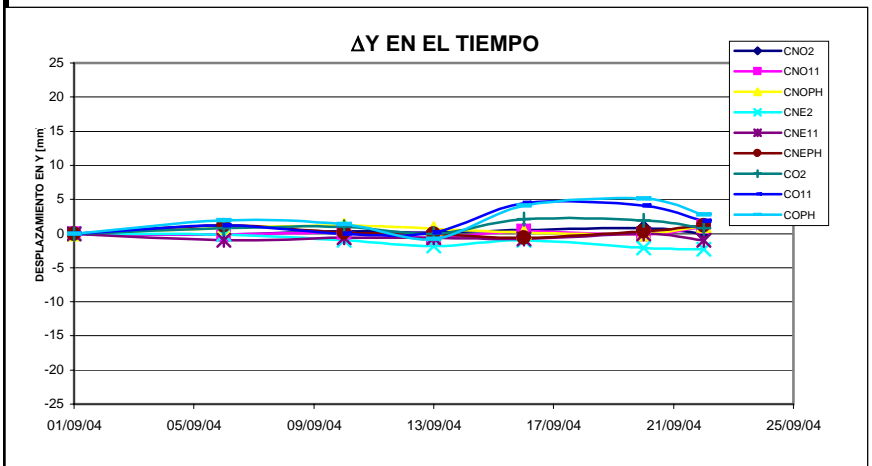
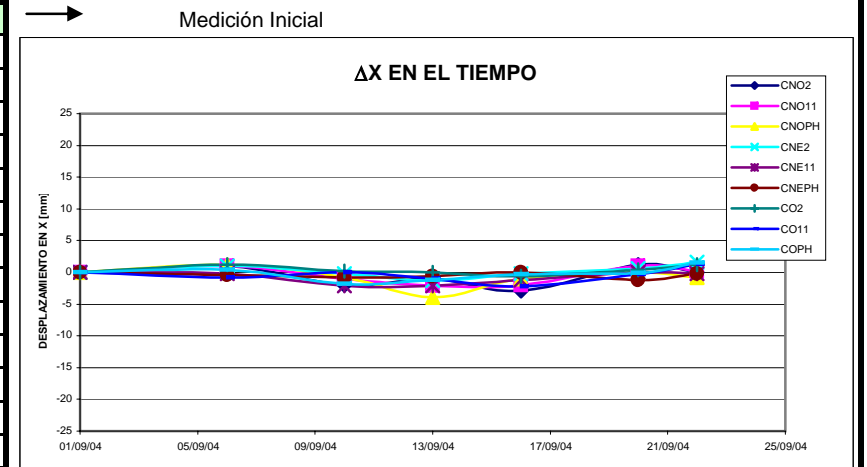


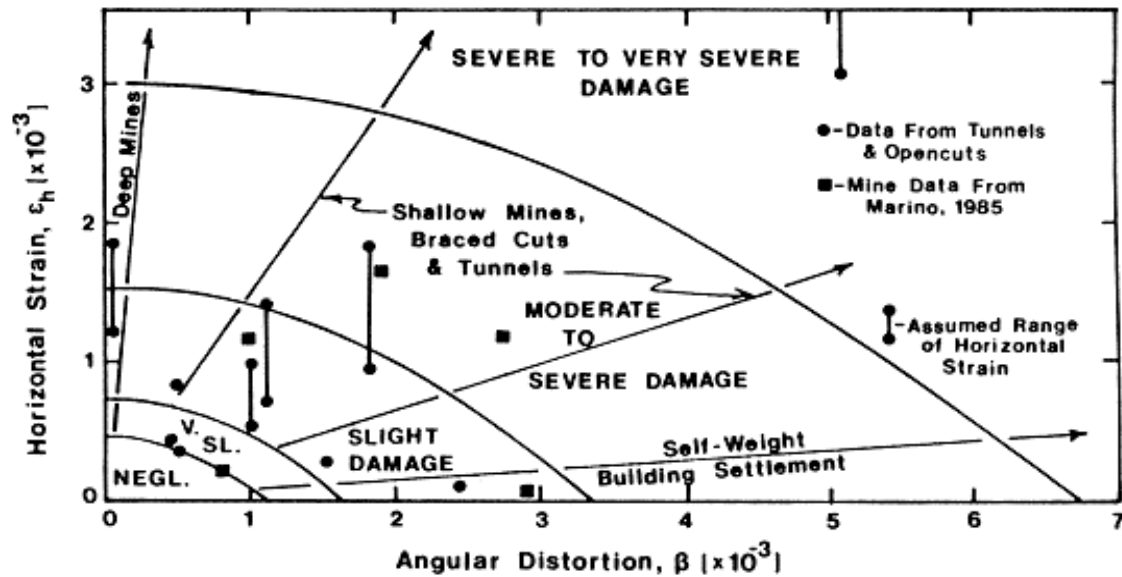
Tabla N° 1 Clasificación de daños visibles (Burland et all 1977).

Categoría del daño	Descripción del daño	Ancho aproximado de la Grieta en mm.
Daño apenas perceptible	Fisuras muy finas con espesor equivalente al de un cabello.	< 0.1 mm.
Daño Muy Ligero	Fisuras que pueden ser tratadas y reparadas fácilmente. Se observan solamente de cerca y en algunas tabiquerías externas.	1 mm.
Daño Ligero	Grietas que pueden ser rellenadas y reparadas. Grietas visibles externamente en tabiquerías. Las puertas y ventanas manifiestan una ligera trabazón.	5 mm.
Daño Moderado	Las grietas requieren cortes especiales y posiblemente se requieren cambiar algunos ladrillos de la tabiquería. Las puertas y ventanas manifiestan dificultad al abrir y cerrar. Se fracturan las tuberías de servicios públicos.	Grietas entre 5 mm. a 15 mm.
Daño Severo	Se requieren reparaciones extensas en tabiquerías. Los marcos de las puertas y las ventanas se deforman. La planeidad de los pesos se pierde. Algunas vigas se deforman en forma importante y pierden su capacidad de carga. Se interrumpen funcionalmente las tuberías de servicios públicos.	Grietas entre 15 mm. a 25 mm. Depende del número de las mismas.
Daño Muy Severo	Se requieren reparaciones mayores que involucran una total o parcial reconstrucción. Todas las vigas pierden su capacidad de carga. Las paredes se inclinan. Las ventanas se rompen por la distorsión angular y hay peligro de inestabilidad o colapso en estructuras.	Grietas > 25 mm. Depende del número de las mismas.

Tabla N°.2 Limitaciones de la Distorsión Angular (β) (criterios empíricos).

Descripción del daño	Límite de la Distorsión angular B	Fuente Autores
Límite seguro asumido para evitar grietas	1/500	Skempton & Mac Donald (1956)
Límite de aparición de grietas en tabiquerías aporticadas y paredes de carga.	1/300	Skempton & Mac Donald (1956)
Límite de aparición de daños estructurales en vigas y columnas	1/150	Skempton & Mac Donald (1956)
Límite de aparición de grietas en paredes de carga y en paredes o en muros continuos de ladrillo	1/1000	Meyerhof (1956)
Límite de aparición de agrietamientos en marcos estructurales no rellenos	1/500	Meyerhof (1956)
Límite de agrietamiento en columnas y en vigas de pórticos estructurales.	1/250	Meyerhof (1956)
Límite seguro donde no hay agrietamiento en pórticos de estructuras metálicas y de concreto armado.	1/500	Polshin & Tokar (1957)
Límite de agrietamiento en columnas esquineras de ladrillo	1/1000	Polshin & Tokar (1957)
Límite de agrietamientos en estructuras donde los esfuerzos auxiliares no aparecen durante asentamientos diferenciales (no uniformes) de fundaciones.	1/200	Polshin & Tokar (1957)
Límite de rotación de estructuras rígidas tales como torres, silos chimeneas y otros)	1/250	Polshin & Tokar (1957)
Límite seguro de deformación para asentamientos de bases de maquinarias.	1/750	Bjerrum (1963)
Límite seguro de deformación para diagonales en marcos.	1/600	Bjerrum (1963)
Límite seguro donde no son permisibles grietas en ninguna estructura.	1/500	Bjerrum (1963)
Límite donde aparecen las primeras grietas en tabiquerías	1/300	Bjerrum (1963)
Límite donde comienza a verse la rotación en edificios altos y rígidos	1/250	Bjerrum (1963)
Aparición de grietas severas (considerables) en tabiquerías	1/150	Bjerrum (1963)
Límite para aparición de grietas en paredes flexibles Relación L/H > 4	1/150	Bjerrum (1963)
Límite de daños estructurales importantes en estructuras	1/150	Bjerrum (1963)
Límite seguro para evitar fisuramiento casi imperceptible en paredes de carga	1/2000	Meyerhof (1982)
Límite seguro para evitar combaduras o flechas en paredes de carga.	1/1000	Meyerhof (1982)

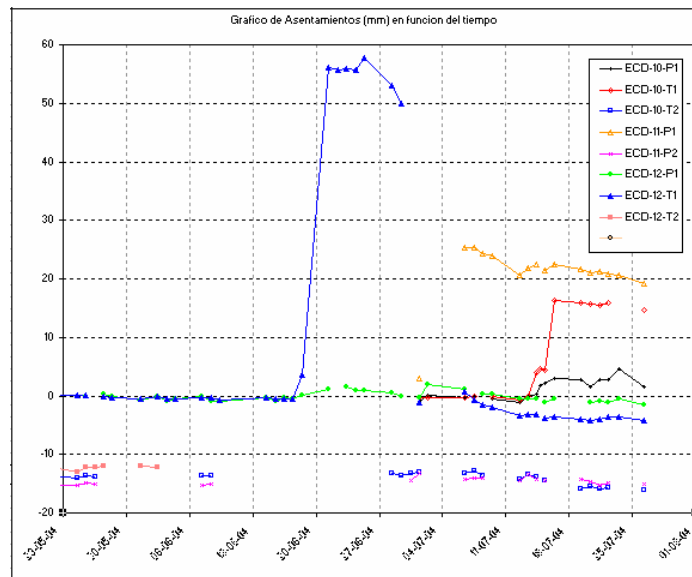
En el caso del edificio del Conjunto Residencial el Conde (CRC), se cuenta con una red de 31 pernos para efectuar las mediciones en las principales columnas de la estructura, en el nivel del sótano y de la planta baja. Los puntos son nivelados diariamente para verificar el comportamiento del edificio durante las diferentes fases constructivas de los túneles gemelos y de la futura estación. Además de la medición de los asentamientos, también se han implementado otros procesos de instrumentación en el mismo edificio, como son la instalación de dos inclinómetros en el frente del edificio para medir el perfil de deformaciones del terreno con respecto a la profundidad entre la superficie y -25 m., el control de agrietamientos mediante regletas graduadas y el control de rotaciones en las fachadas de la estructura mediante el empleo de 9 puntos de control (targets reflexivos) con la ayuda de una estación total Leica TC303 de 3" de precisión. Ver fotos 5 a 11 en la página 12.



Category of damage	Normal degree of severity	Limiting tensile strain (ϵ_{lim}) (%)
0	Negligible	0 - 0.05
1	Very Slight	0.05 - 0.075
2	Slight	0.075 - 0.15
3	Moderate	0.15 - 0.3
4 to 5	Severe to Very Severe	> 0.3

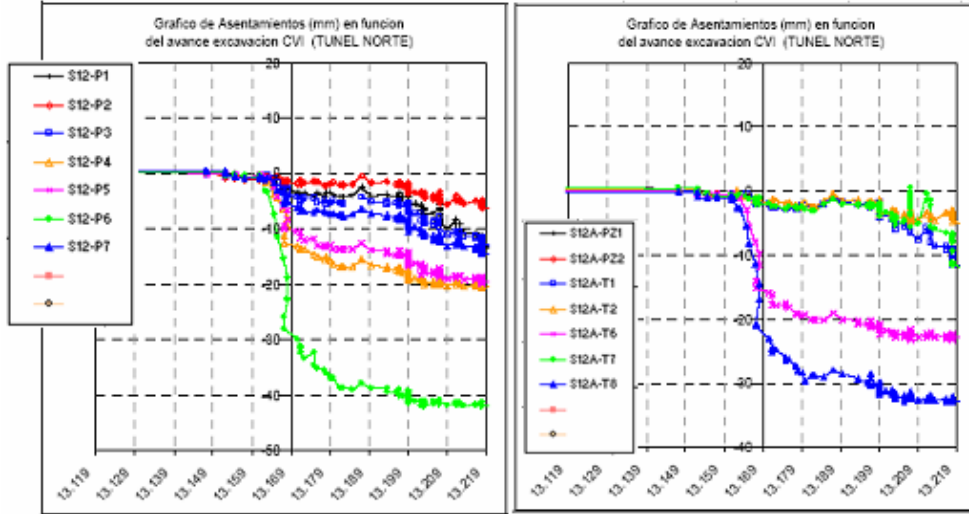
Gráfica 3. Relación entre los tipos de daños generados por la distorsión angular (β) y las deformaciones unitarias horizontales (Boscardin and Cording, 1989).

Durante el transcurso de las excavaciones de los túneles mineros pertenecientes a la cola de maniobras de la Línea 4, los asentamientos reportados en las secciones transversales regularmente no superaron los 25 mm.; y las edificaciones circunvecinas, a pesar de encontrarse muy próximas a los túneles, reflejaron un buen comportamiento con asentamientos poco significativos. Este hecho es debido a la gran cantidad de procesos de Jet Grouting efectuados cada 8 a 10 metros de avance, que se realizaron constantemente por delante del frente de excavación para consolidar el suelo y reducir los riesgos que involucra una obra de este tipo. Estos tratamientos también fueron detectados por los instrumentos ubicados cerca de las secciones transversales, mientras eran efectuados, manifestando en algunos casos, levantamientos de hasta de 4 cm. El proceso de nivelación se implementó para el control de las presiones de inyección durante las diferentes fases constructivas del jet grouting (CCP), permitiendo así reducir el riesgo de aparición de daños en la superficie y estructuras vecinas cercanas a las áreas de tratamiento. Ver gráfica 4.



Gráfica 4
Levantamiento observado durante las presiones de inyección con Jet Grouting en el túnel minero (Av. San Martín).

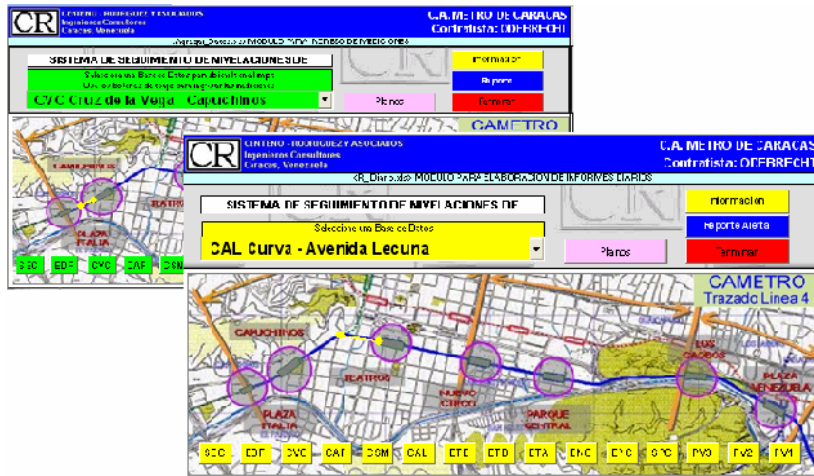
Durante la excavación del túnel Norte (CVI) el día 03/03//03 ocurrió un importante derrumbe en el frente de excavación que se vio reflejado en la instrumentación superficial (S-12 Prog.13+169.5) indicando asentamientos hasta de 41 mm, afortunadamente no se presentaron daños en la superficie gracias a la pronta estabilización del subsuelo con shotcrete y jet grouting. Ver gráfica 5.



Gráfica 5. Ejemplo de asentamientos registrados en la sección S-12 Prog.13+169.5 después del derrumbe interno ocurrido el día 03/03/03 en la Prog.13+167.1 en el frente del Túnel minero Norte NATM (CVD)

Una de las partes fundamentales de todo plan de instrumentación es el eficiente manejo de la data obtenida en campo para su posterior procesamiento y entrega de resultados a los interesados en forma clara. En el caso de la instrumentación de la Línea 4, el proceso de nivelación es el que genera la mayor cantidad de data ya que este se ejecuta diariamente a lo largo de todo el trazado de la Línea 4.

Para lograr esta compleja tarea, la empresa Centeno Rodríguez & Asociados Ingenieros Consultores diseñó una macro base de datos, la cual se divide en dos grandes módulos (Agregar_Datos y Reporte_Diario), en donde se introducen los datos de las nivelaciones y las progresivas de cada frente de excavación, para luego en otro modulo poder graficar y calcular los asentamientos producidos en dicha campaña. Ver Mapas 4 y 5.



Mapas 4 y 5

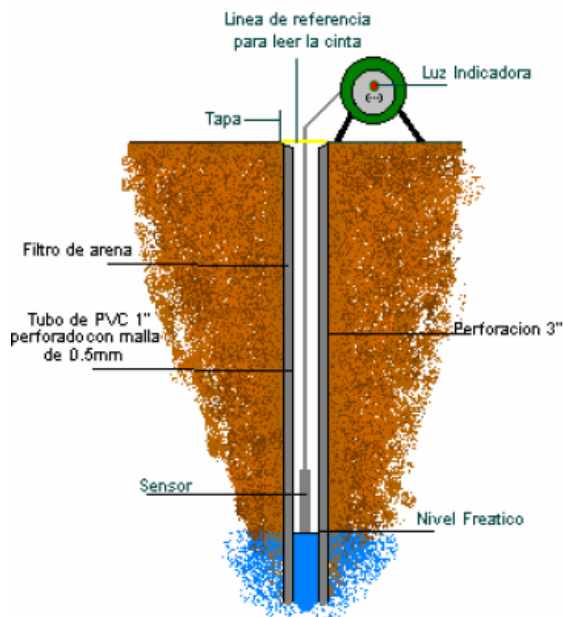
El programa MACRO BASE GROUP fue diseñado totalmente por ingenieros civiles venezolanos de la empresa Centeno-Rodríguez y Asociados Ingenieros Consultores. El mismo divide a la Línea 4 en 15 sectores, donde es posible verificar, en forma muy rápida, la historia tanto de los puntos correspondientes a las secciones transversales, como la de los puntos de control por cada una de las estructuras circunvecinas. Permite observar la tendencia de cada uno de los asentamientos registrados diariamente por cada punto con respecto a la fecha y al avance de cada una de las excavaciones.

Mediciones de Niveles Freáticos

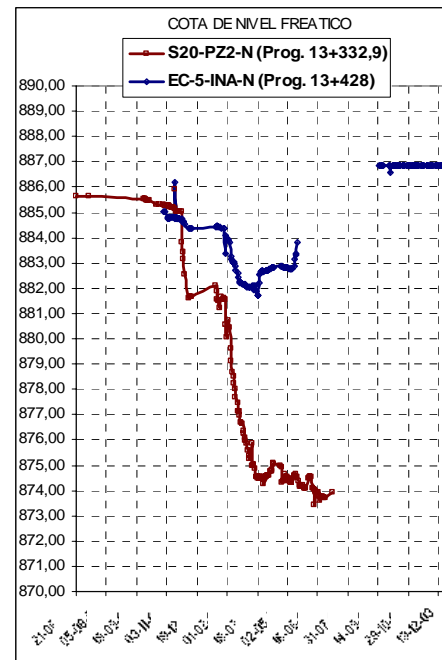
En una ciudad como Caracas, conocer la posición del nivel de agua subterránea es muy importante, pues representa una variable estocástica que debe ser tomada en cuenta para la construcción de cualquier obra de excavación y/o retención de tierras, ya que existen grandes cantidades de cursos de agua, como quebradas y vaguadas, además de la presencia del Río Guaire, en las cercanías de la futura Línea 4.

Tener conocimiento de las cotas del nivel de aguas subterráneas es de gran importancia para el personal encargado del control de las excavaciones de los túneles mineros y TBM-EPBs, ya que con esta información se pueden regular en forma más eficiente las presiones del frente del escudo y de las inyecciones de grout de los anillos instalados. En el caso de las excavaciones a cielo abierto, los piezómetros permiten verificar la eficiencia de los sistemas de bombeo instalados, perimetralmente a las trincheras, para excavar las mismas con fondo seco y evitar que las maquinarias se hundan o peguen.

Fig.3-Esquema de Piezómetro



Gráfica 6. Medición de Niveles freáticos



Los piezómetros instalados hasta la fecha se encuentran a profundidades que varían desde los 20 metros hasta los 32 metros y que dependen de la ubicación y propósito del piezómetro que se va a instalar. Hasta la fecha se han instalado cuarenta piezómetros. Los niveles freáticos más altos han sido registrados en el sector de la estación Capuchinos (Av. San Martín), en donde el agua subterránea, en la temporada de lluvias ha llegado a profundidades cercanas a los -2,46 metros por debajo de la superficie. Evidentemente controlados por la presencia de cursos de quebradas. Esto ha generado una gran preocupación en el personal a cargo de las excavaciones de los túneles mineros, ya que además de las incomodidades que generan las goteras dentro del túnel para poder trabajar, se genera una importante sobrecarga sobre el revestimiento primario de la excavación, lo que hace que aumenten los factores de riesgo durante las fases constructivas. Este fenómeno ha traído como consecuencia la necesidad de implementar baterías de pozos de achique para abatir estos niveles.

Las mediciones de los niveles freáticos que se han venido ejecutando durante la construcción de la Línea 4, serán de gran utilidad a futuro, ya que se cuenta con un registro muy bien documentado de los niveles de las aguas subterráneas a lo largo del trazado, el cual podrá ser empleado por los futuros proyectos de nuevas obras relacionadas con la rama de la geotecnia.

Mediciones de Convergencias

Las mediciones de convergencias son muy importantes que se realicen diariamente para la mayoría de las excavaciones ejecutadas con el método NATM, tal y como es el caso de la cola de maniobras de la Línea 4 (tramo Plaza Italia-Capuchinos). El proceso consiste en registrar las deformaciones que se producen en los elementos estructurales (costillas metálicas) que conforman el revestimiento primario de las excavaciones, como consecuencia de las presiones que el suelo ejerce. (estas presiones se encuentran entre 10 y 30 ton/m²). Ver fotos 12 y 13 y Figura 14.

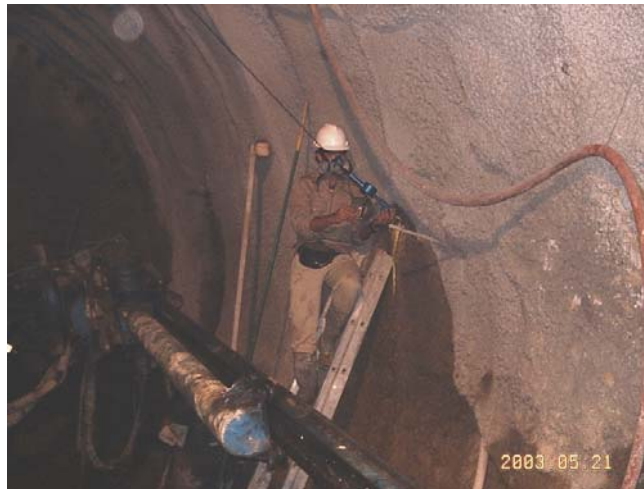


Foto 12. Mediciones de convergencias con cinta extensométrica en el Túnel Sur (NATM) durante el proceso de tratamiento con jet grouting

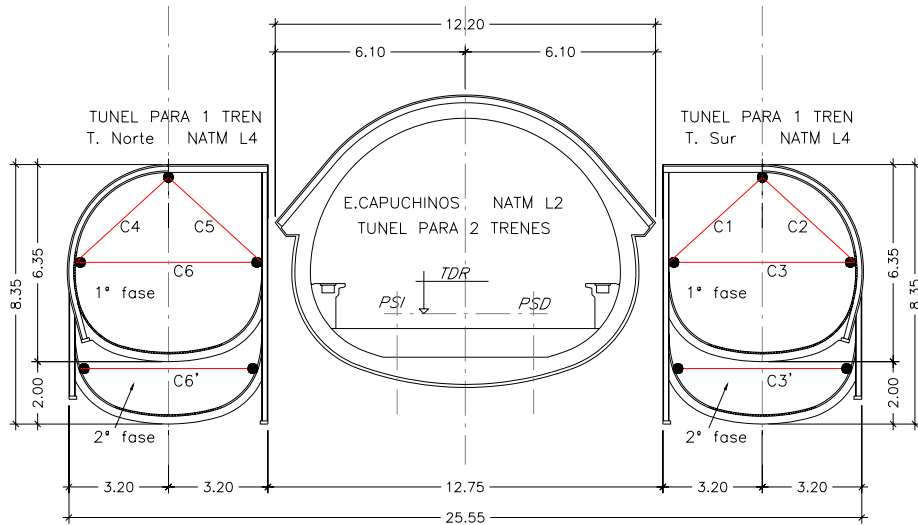


Fig. 4-Esquema de Instrumentación de costillas en túneles mineros (NATM).
Medición de convergencias con cinta extensométrica GEOKON 1610 y cinta EALEY electrónica 1610E



Cortesía GEOKON, Inc. USA.

En la Figura 4 se presentan las secciones típicas del túnel NATM ubicado en las cercanías de la estación CAPUCHINOS. Sitio de enlace entre las Líneas 2 y 4. Abajo un detalle de cómo se miden las caonvergencias con la ayuda de la cinta extensométrica apoyada en dos anillas o alcayatas metálicas. La distancia se mide todos los días en función de los avances de colocación de las costillas con cintas extensométricas de tipo mecánico y electrónico (EALEY) con precisión de 0.01 mm. (ver foto 13). Se realizan correcciones por temperatura.



Foto 13. Cinta Extensométrica EALEY - GEOKON 1610

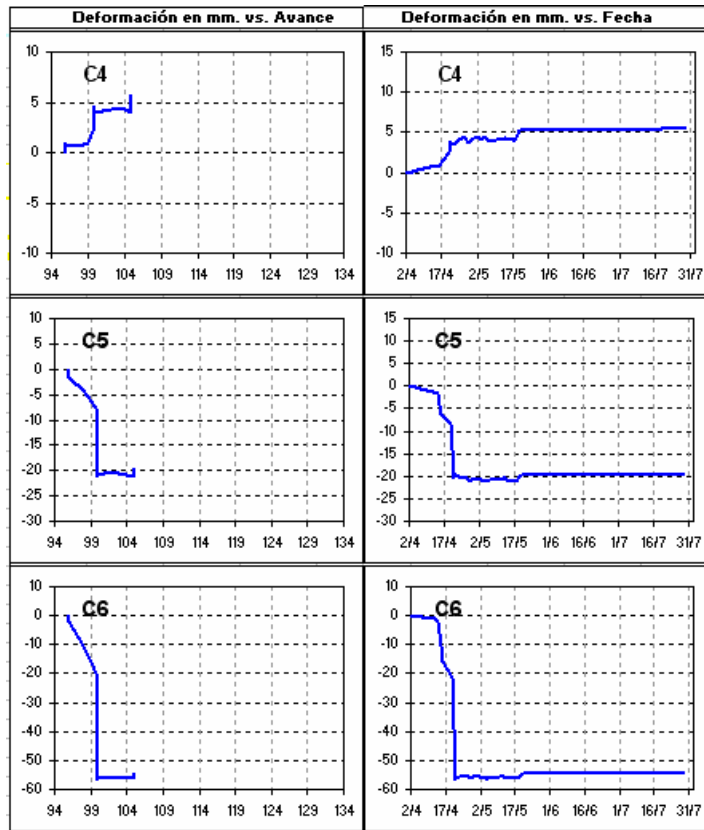
Para llevar a cabo correctamente las mediciones de convergencias en la excavación de un túnel minero es de gran importancia conocer el comportamiento del elemento estructural a medida se va ejecutando la excavación. En el momento de ser instalada la costilla el subsuelo aún no ha ejercido presión sobre la misma y es este el momento óptimo para tomar la medición inicial, para así de esta manera poder apreciar las máximas deformaciones sufridas por la costilla con las mediciones posteriores. Las mayores deformaciones suelen ocurrir cuando el frente de excavación se encuentra a una distancia equivalente a un diámetro y medio de la costilla instrumentada. Esto por supuesto depende directamente del tipo de suelo en que se ejecuta la excavación.

En el caso de los túneles mineros (NATM) de la Línea 4, las costillas son instrumentadas en tres puntos con la ayuda de anillas especiales, previamente fabricadas, que son soldadas a las costillas para luego fijar el equipo de medición.

Las mediciones son ejecutadas diariamente con la ayuda de una cinta extensométrica que tiene una precisión de la centésima del milímetro y que se encuentra calibrada (material) para que las medidas puedan ser corregidas debido a los cambios de temperatura. Se reportan las deformaciones vs la fecha y vs. el avance de cada excavación. Dependiendo de la litología se aumenta la densidad de los elementos instrumentados (secciones). En nuestro caso se instrumentaron, una de cada cinco costillas y en determinados casos se espació a una de cada ocho costillas.

Está previsto también medir esfuerzos (en MPa) en el revestimiento de concreto (lining) con la ayuda de celdas de presión tangenciales, tipo NATM Geokon 4850-1 y alargamientos en las barras de acero con la ayuda de los Strain Gauges Geokon 4150, en el cruce del túnel TBM-EPBs Norte, con el túnel minero NATM, ubicado en la esquina de Angelitos. Estas secciones serán similares a las mostradas en la figura superior. Los equipos estarán colocados en sendas secciones ubicadas a la entrada y salida de la proyección de la excavación del Túnel TBM-EPBs Norte con el Túnel NATM L2 del sector Angelitos. Por el importante costo solo se han previsto 6 instrumentos en vez de 12 como aparecen en la gráfica. Se correlacionarán con las medidas de convergencia. No se incluyen resultados en este trabajo pues no hay tiempo para presentarlos. Será tema importante para otro artículo técnico.

Para poder interpretar los resultados obtenidos con las mediciones de convergencia, hemos adoptado un criterio empírico de análisis, que consiste en tomar previsiones para aquellas deformaciones que excedan el rango comprendido entre el 1.0% y el 1.5% del radio de la excavación. El radio de la excavación es aproximadamente 3.05 mt.; es decir, que deformaciones superiores a los 45 mm., comienzan a ser significativas y hay que prestar mucha atención para lograr estabilizar el frente con el revestimiento primario y secundario requeridos. Se debe observar muy bien la tendencia de las deformaciones, ya que en ocasiones algunas anillas resultan golpeadas, o se registran deformaciones repentinas que no corresponden al comportamiento del elemento estructural (falsa alarma).



Gráfica 7. Deformaciones de la costilla # 94 Sector Capuchinos

Durante nuestra experiencia llevando a cabo las mediciones de convergencias en los tuneles mineros, se han instrumentado un total de 122 costillas en todos los frentes de excavación. De todas estas costillas, solo una excedió el rango de deformaciones del que hablamos anteriormente. Este es el caso de la costilla 94 (Prog. 13+500.24) ubicada en las proximidades de la Estación Capuchinos, y que a partir de la instalación de la costilla 98, comienza a presentar una evidente tendencia al cerramiento, hasta llegar a reflejar deformaciones de 20 mm. y de 56 mm. en las distancias C5 y C6 respectivamente. Estas deformaciones alertaron al personal que ejecuta las excavaciones, quienes tomaron de inmediato medidas necesarias para estabilizar el elemento estructural mediante el refuerzo con shotcrete (concreto proyectado) del arco invertido y del recubrimiento de la costilla. Estas medidas fueron realizadas trabajando conjuntamente con el personal de instrumentación subterránea, quienes incrementaron las mediciones en dicha costilla hasta que la misma reflejó un comportamiento nuevamente estable. Ver gráfica 7.

Las mediciones de convergencias no suelen ser implementadas en las dovelas de los túneles TBM debido a las características del proyecto, pero en ciertas ocasiones se han realizado adaptaciones al proceso constructivo para poder controlar las deformaciones de los anillos, cuando existen sobre ellos la presencia de fundaciones pertenecientes a edificaciones que interfieren con el alineamiento del túnel. Los resultados obtenidos en estas mediciones demuestran la eficiencia del método constructivo y del diseño de las dovelas empleadas para la construcción de ambos tuneles TBM-EPBs.

Actualmente se tiene previsto implementar las mediciones de convergencia de los muros colados pertenecientes a la excavación de la trinchera de la futura estación Parque Central, mediante el uso de una estación total y de tarjetas reflexivas apoyadas en puntos BM confiables.

Mediciones de rotaciones angulares con la ayuda de Platos de cerámica y sensor Tiltmeter de SINCO.

Se usaron en las vigas de coronamiento de los muros colados de la estación Nuevo Circo para verificar la rotación en las cercanías del paramento cercano a la antigua Plaza de Toros. Permiten conocer en dos direcciones ortogonales la variación de inclinación de planos con precisión de 3" de arco. Ver Foto 14.

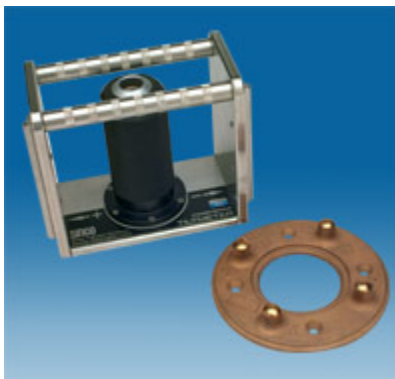
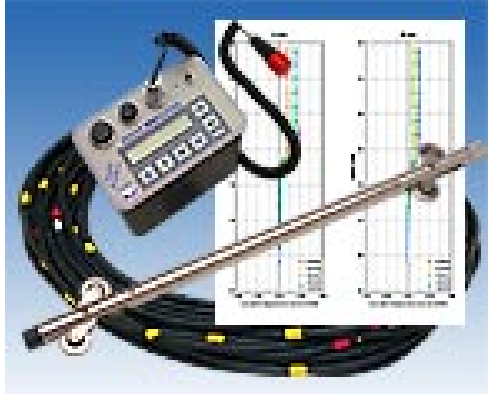


Foto 14

Mediciones de Desplazamientos Laterales con Inclínometros

Uno de los métodos desarrollados para medir los desplazamientos laterales consiste en introducir en el terreno un tubo relativamente flexible (PVC de alta densidad) cuya original verticalidad varía al ocurrir movimientos horizontales en la masa de suelo a su alrededor, de manera que el perfil del tubo deformado proporcione una imagen precisa y cuantitativa de los desplazamientos que han ocurrido en el sitio con respecto a la profundidad debido al paso de las excavaciones de los túneles gemelos TBM-EPBs, y durante la excavación de las trincheras de las futuras estaciones. Durante la construcción de la Línea 4 fueron implementados un total de cuatro inclinómetros, dos en el sector de Plaza Venezuela y otros dos en la cara norte del Conjunto Residencial El Conde debido a la importancia que tiene esta estructura por encontrarse ubicada muy próxima a la excavación de la Estación Parque Central. Se instalaron 2 tubos inclinométricos de $\varnothing 4''$ y longitud de 25 metros cada uno. Se les tomaron lecturas en las 4 direcciones cardinales a cada 50 cm. Se utilizó el sensor biaxial SINCO 50302510, de tipo métrico con la ayuda de un lector electrónico SINCO Digitilt DataMate 50310900. Ver fotos 15 y 16.



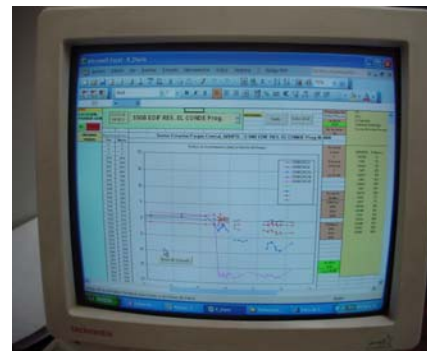
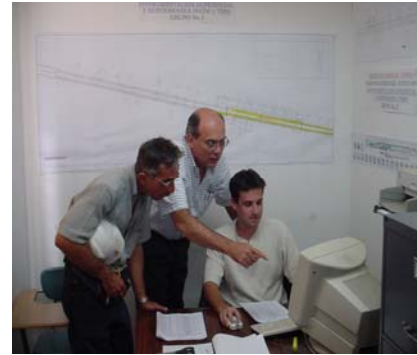
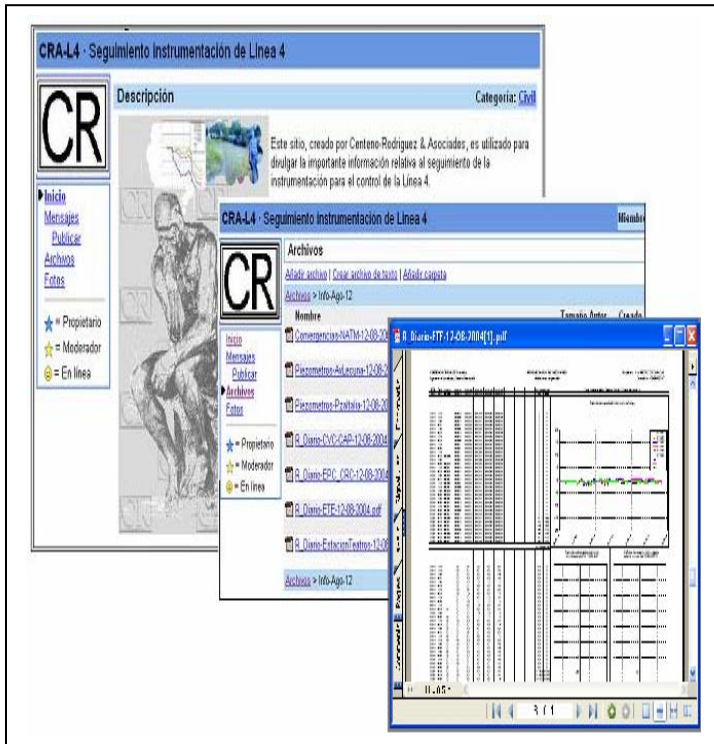
Fotos 15 a 18. Equipo Inclinométrico empleado y equipo video sonda submarina.

Se utilizó también el sistema de verificación de imágenes (VideoSonda®) desarrollado por nuestra oficina en conjunto con la empresa VISTA C.A. para verificar la verticalidad del tubo inclinométrico antes de proceder a meter el torpedo biaxial en cada campaña. Esto se hace para evitar que por alguna falla local durante los trabajos de inyecciones de lechada a presión, se pueda haber roto algún empate de los segmentos de tubo y por lo tanto se corra el riesgo de perder el torpedo biaxial. Ver fotos 17 y 18.

Ambos inclinómetros fueron instalados antes del paso de las topas por el frente del edificio y se realizaron mediciones antes, durante y después del paso de ambos túneles TBM-EPBs, reflejando deformaciones poco significativas.

Se incluye una gráfica de las lecturas inclinométricas realizadas durante 11 campañas de medición efectuadas con respecto al paso de los túneles gemelos TBM-EPBs. La distancia entre los tubos inclinométricos al borde del túnel sur fue de 5.00 metros (7.65 metros entre el inclinómetro y el eje del túnel sur). Se presenta como ejemplo una salida gráfica del tubo 1 en la siguiente hoja en pdf.

Después de observar todos los procesos de instrumentación geotécnica que se llevan a cabo diariamente en la obra, es evidente suponer que día a día se manejan una gran cantidad de datos que requieren ser procesados y transmitidos oportunamente a cada uno de los frentes de trabajo. De esta forma el personal a cargo de cada frente puede mantenerse informado y puede tomar decisiones oportunas en caso de existir alguna situación que genere cualquier riesgo durante la ejecución de las obras.



Fotos 19 y 20 Procesamiento e Interpretación de la data para los informes. MACRO BASE GROUP.

Conclusiones

1.- El seguimiento instrumental de la Línea 4 del Metro de Caracas, debido a las múltiples variables estocásticas que lo integran, y a la dinámica de la obra, ha requerido de un procedimiento ágil y confiable de divulgación de la información, realizado diariamente y en tiempo real, publicando en el Internet los reportes de los diferentes sitios instrumentados a medida que llegan las informaciones provenientes del campo, y creados con un programa especial diseñado para éste propósito. El sitio Web utilizado se programó con acceso restringido para brindar seguridad a la importante información publicada, la cual debe ser consultada ágil y eficientemente por parte de los responsables de la obra desde cualquier parte del mundo y a cualquier hora. Ver fotos 19 y 20.

Los reportes diarios de instrumentación se presentaron al cliente en formato “pdf”. La “MACROBASE DE DATOS GROUP” fue creada por ingenieros civiles venezolanos. La misma posee una gran capacidad de almacenamiento de datos y de información general del plan de instrumentación aplicado. Permite generar flexiblemente los reportes de lapsos largos o cortos, que pueden ser requeridos en un determinado momento. Ha dado muy buenos resultados hasta la fecha para el manejo del control instrumental permanente de una obra de esta envergadura.

2.- Se contó con la tecnología disponible para el año 2004 en materia de instrumentación geotécnica, la cual fue suministrada por las principales empresas de equipos de precisión geotécnica en el mundo. Se utilizaron siempre equipos dotados de precisión suficiente para poder conocer en todo momento el estado de deformaciones de cada una de las estructuras cercanas a las excavaciones de los túneles y estaciones. Se verificaron en todo momento los límites de las distorsiones angulares y de los asentamientos diferenciales adoptados por el estado del arte en la materia.

3.- Se incorporó como metodología para la instrumentación de precisión, en la evaluación de la verticalidad y de la distorsión angular en fachadas de edificaciones de gran altura (vecinas a excavaciones para las estaciones de Metro -25m.), ubicadas por debajo de la superficie, el empleo de una estación Total, Leica TCR/303 (3" de precisión), dotada de miras reflectivas tipo Leica, prismas y tarjetas de alineamiento con precisión de ± 1 mm en tramos de más de 100 metros de longitud.

4.- Se adoptó como límite seguro para evaluar las distorsiones angulares, establecer la fracción 1/500 para todas las edificaciones circunvecinas a las excavaciones efectuadas con los TBM-EPBs y NATM del alineamiento. También para las excavaciones de las estaciones del tramo.

5.- Las mediciones de asentamientos registradas en las 88/101 secciones transversales durante los años 2003 y 2004, han permitido retroalimentar los modelos de elementos finitos utilizados en la fase de diseño por parte de los proyectistas originales de la obra. Se han tomado las medidas de ajuste necesarias y de los refuerzos adicionales requeridos en el caso de estructuras circunvecinas a las excavaciones de los túneles y estaciones del tramo Plaza Venezuela-Capuchinos.

6.- Durante la experiencia recabada con este proceso de instrumentación, hemos notado que en condiciones normales de excavación, son mayores los asentamientos producidos por los túneles (EPBs) que los producidos por las excavaciones de los túneles mineros (NATM). Esto era lógico que ocurriera, pues la velocidad de avance de cada proceso, y las técnicas de acondicionamiento del suelo fueron distintas. En el sistema NATM el proceso fue más lento y conllevó a una estabilización en varias fases. En el sistema (TBM-EPBs), el avance fue muy rápido y conllevó a la instalación de hasta 12 anillos de 1.40 m de largo por día. En algunos días se llegó a instalar hasta 17 anillos (consecuencia de una litología con suelos fáciles de excavar con pocos peñones y abundantes sedimentos y arena y bajo nivel de aguas subterráneas).

7.- Los mayores asentamientos que se han reflejado en las 88/101 secciones transversales instrumentadas a la fecha, se encuentran estrechamente relacionados con algunos accidentes ocurridos durante los procesos de excavación, y en base a las condiciones geotécnicas particulares de dichos sitios. Hemos detectado asentamientos máximos de hasta de 45 mm en los túneles TBM-EPBs. Este fue el caso de la Sección S-49 ubicada frente de la edificación Centro Residencial El Conde (estación de Parque Central). Allí se pudo determinar que algunos asentamientos diferenciales y totales fueron producto de la suma de factores tanto mecánicos, como geotécnicos.

8.- La valiosa información obtenida durante todo el seguimiento de instrumentación geotécnica realizado en la Línea 4 de del Metro de Caracas, ha sido usada oportunamente por los proyectistas originales (brasileros) y por los consultores geotécnicos venezolanos para evaluar el comportamiento general de los procesos constructivos ejecutados durante las excavaciones de los túneles TBM-EPBs y NATM. Se ha verificado también la efectividad de los sistemas de soporte adoptados para los túneles TBM-EPBs y NATM.

9.- Las medidas de asentamiento registradas en la superficie, con la ayuda de las diferentes secciones transversales de instrumentación, han permitido calibrar los modelos numéricos de elementos finitos empleados durante la fase de diseño. También han permitido ajustar las dimensiones de algunos soportes primarios de las excavaciones con la tecnología NATM (tramo Capuchinos-Plaza Italia). Resultando en algunos casos muy positivo para la obra, pues se dotó de una protección adicional contra daños a terceros (estructuras vecinas). También para evitar los retrasos contra paralizaciones que afectarían el buen desenvolvimiento de la obra.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo ha sido posible gracias a la participación activa y permanente en la obra por parte del personal profesional y técnico de Centeno-Rodríguez y Asociados S.C, destacados en las diferentes zonas del Tramo Plaza Venezuela- Capuchinos: Ing. Valentina Martín Martín, Ing. Favio Barajas, Tec. Wilfredo Astudillo (Grupo 1), Técnico Wilfredo Fuenmayor (Grupo 2), Téc. Narciso. Stevanon, Téc. Roberto Brescia G., Tec. Ramiro Meleán, Tec.ACAD Abraham Coronado. De igual manera se contó con la colaboración y compañerismo de los ingenieros: José Luiz Pinho Correia., Aluizio Margarido Bomfim, Carlos Alexandre de Almeida, M.Caldas Santos, Danilo Abdanur, Loly Rodríguez Slava, Pedro Valera Zambrano, Wolfgang, Alfonso Elechiguerra, Edwin Medrano e Ignacio Verde, por parte de Constructora Norberto Odebrecht S.A. C.N.O. (Brasil-Venezuela).

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.

Brescia G., Daniel y Pereira Eduardo (2002), Tesis para Optar al Título de Ingenieros Civiles en la Universidad Católica Andrés Bello. Caracas-Venezuela. “Instrumentación para el control del avance del túnel minero ubicado en el Tramo Plaza Italia-Capuchinos de la Línea 4 del Metro de Caracas”. 09/05/2002. Prof. Guía: Ing. Francisco Centeno P.

Carillo Pimentel, Pedro, (1992) “Estimación de esfuerzos y deformaciones en estructuras del Metro de Caracas”. 25 Años de Experiencias Geotécnicas con el Metro de Caracas. XII Seminario Venezolano de Geotecnia (SVDG) Noviembre de 1992. Figura N°.11, Pág. 115. Estimación de asentamientos en la superficie. Profesor Ralph Peck 1969.

Centeno Pulido, Francisco, (1987) Notas del Curso de Instrumentación Geotécnica realizado en Geotechnical Instruments, Warwick, England, Junio 1987. Instrumentación y ensamblaje de inclinómetros biaxiales y readout units. Principios operativos.

Centeno Pulido, Francisco, (1988). Notas del Curso de especialidad en Obras Subterráneas realizado en el CEDEX, Madrid España. “Instrumentación de Galerías”.

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. Ing. Roberto R. Centeno Werner.

Centeno-Rodríguez y Asociados S.C. Ingenieros Consultores, Caracas-Venezuela (2003 -2004) “Reportes mensuales de instrumentación del Tramo Plaza Venezuela-Plaza Italia”, Línea 4 del Metro de Caracas. Enero de 2003 a Julio de 2004.

Dunnicliff John (1993), Gordon E. Green. & Prof. Ralph Peck. “Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance” John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-00546-0 (pbk). 563 páginas.

Geokon, Inc, Lebanon New Hampshire, USA. (2004) “Tape Extensometers (Digital and Mechanic), Vibrating Wires Pressure cells and Strain gauges”. Web Page: www.geokon.com. Product Catalog 2004.

Geotechnical Instruments LTD. Web page: www.bacharach-europe.com “Product Catalog 2004. Uso de Inclinómetros, Readout units. Remote Transmissions sensors. Piezometers”.

Herrenknecht A.G.. Tunnelling Systems (2003) “Empresa fabricante del escudo tipo EPBs para la L4 de CAMETRO”. Web page: www.herrenknecht.com

Perri, Gianfranco (2002). “La Moderna Tecnología “EPBs” en la construcción de los túneles de gran diámetro de la Línea 1 del Metro de Valencia”. XVII Seminario Venezolano de Geotecnia (SVDG). Del Estado del Arte a la Práctica. 5 al 7 de Noviembre de 2002. Páginas 131 a 143.

Richard J. Finno, Michele Calvello, Sebastián L. Bryson (Sep 2002), Northwestern University, USA, “Análisis and Performance of the Excavation for the Chicago Subway Renovation Project and its effects on adyacent structures”. Tomado de internet.

RST Instruments, Vancouver Canada (2004). Web Page: www.rstinstruments.com “Product Catalog 2004. Crackmeters and Piezometers readout units”.

Slope Indicator Company (SINCO) (2004), Seattle Washington. Web Page: www.slopeindicator.com. “Biaxial Metric Inclinometers, piezometers readouts units, tiltmeters and crackmeters. Product Catalog 2004.

Solinst, Canada (2004), Solinst High Quality Groundwater Monitoring Instruments. WebPage: www.solinst.com

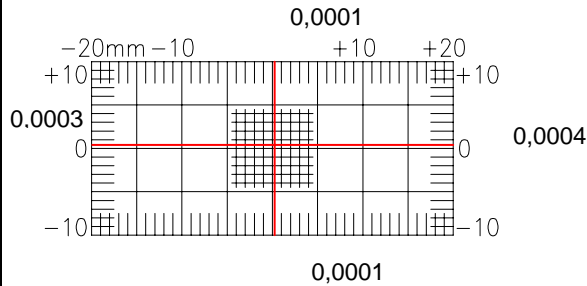
Venezuela Analítica (2000). Mapas. www.analitica.com/archivo/vam1997.07/sxxi3.htm

VideoSonda® VISTA C.A. (2004), Web Page: www.tecnologiavista.com

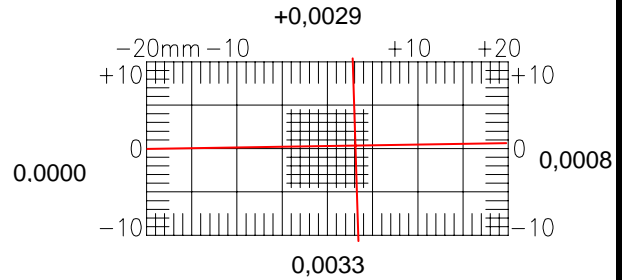
Propietario: **C.A. METRO DE CARACAS**
 Contratista: **ODEBRECHT**
 Subcontratista: **CENTENO-RODRIGUEZ & Asoc.**
 Seguimiento: **Ing. Daniel Brescia**
 Supervisión: **Ing. Francisco Centeno P.**

LÍNEA 4 CAMETRO
TRAMO: PLAZA VENEZUELA-PLAZA ITALIA
SECTOR: ENC
ZONA DE OBRA: Tunel en Escudo
Tipo de Instrumentación: Mediciones de Regletas

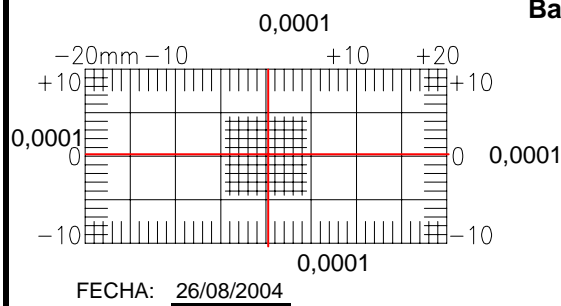
Casa del Cuero



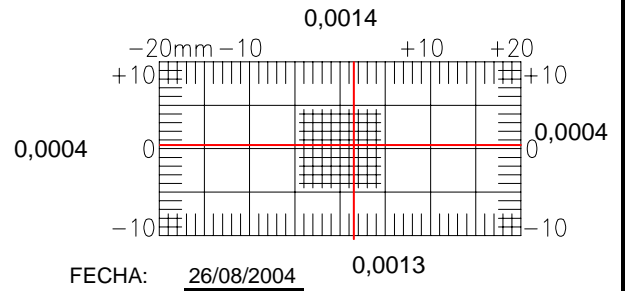
Casa #126.2 Bufete



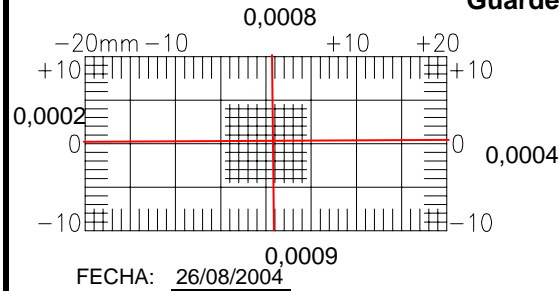
Barbería



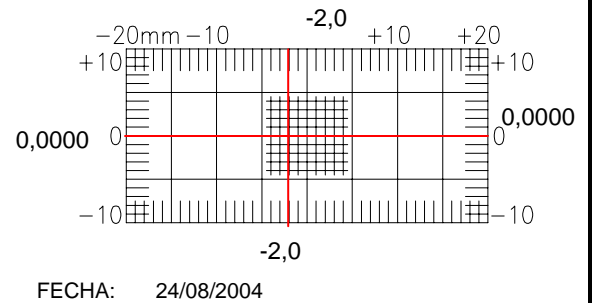
Casa #126.2 Bufete 2



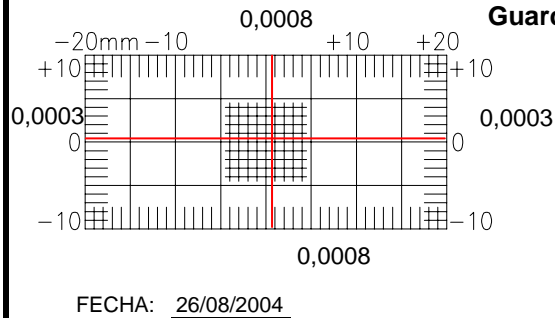
Guarderia 1



Autolavado



Guarderia 2



FECHA: _____

EPC	Punto	Sector Estacion Parque Central, GRUPO: S-49B EDIF RES. EL CONDE Prog.16+075									Prog. Frente Excav.	
		S49BCRC1	S49BCRC2	S49BCRC5	S49BCRC15	S49BCRC16	S49BCRC17	S49BCRC18	S49BCRC18S	Sur	Norte	Sur
19-07-04	11:00	867,4580	867,4892	867,6219	867,6781	867,6119	870,6695	870,6478	867,4232		1512	1378
21-07-04	11:45	867,4569	867,4886	867,6194	867,6655	867,6048	870,6480	870,6269			1512	1378
23-07-04	12:00	867,4573	867,4877	867,6195	867,6645	867,6047	870,6486	870,6267			1512	1378
26-07-04	10:30	867,4578	867,4881	867,6191	867,6649	867,6045	870,6477	870,6269			1512	1378
28-07-04	10:15	867,4573	867,4892	867,6189	867,6647	867,6050			867,4232		1512	1378
30-07-04	10:45	867,4572	867,4892	867,6195	867,6655	867,6050			867,4230		1512	1378
02-08-04	11:15	867,4587	867,4884	867,6190	867,6641	867,6045			867,4240		1512	1378
04-08-04	10:45	867,4576	867,4896	867,6195	867,6645	867,6037			867,4244		1512	1378
09-08-04	10:45	867,4576	867,4901	867,6201		867,6034			867,4237		1512	1378
11-08-04	12:10	867,4574	867,4898	867,6200	867,6652	867,6033			867,4237		1512	1378
12-08-04	11:30	867,4578	867,4898	867,6187	867,6652	867,6042			867,4237		1512	1378
13-08-04	11:15	867,4578	867,4892	867,6196	867,6651	867,6042			867,4236		1512	1378
18-08-04	09:00	867,4575	867,4884	867,6188	867,6637	867,6033			867,4241		1512	1378
20-08-04	10:15	867,4575	867,4892	867,6189	867,6633	867,6038			867,4227		1512	1378
23-08-04	09:30	867,4572	867,4878	867,6192	867,6642	867,6041			867,4234		1512	1378
25-08-04	10:30	867,4577	867,4883	867,6188	867,6638	867,6044			867,4232		1512	1378
27-08-04	10:00	867,4576	867,4875	867,6191	867,6642	867,6044			867,4227		1512	1378
30-08-04	10:15	867,4572	867,4888	867,6187	867,6633	867,6042			867,4223		1512	1378
01-09-04	10:30	867,4575	867,4890	867,6186	867,6634	867,6046			867,4233		1512	1378
02-09-04	09:30	867,4575	867,4887	867,6190	867,6636	867,6054			867,4237		1512	1378
03-09-04	11:20	867,4579	867,4887	867,6200	867,6641	867,6039			867,4239		1512	1378
04-09-04	11:45	867,4573	867,4881	867,6190	867,6650	867,6048			867,4239		1512	1378
06-09-04	10:30	867,4570	867,4886	867,6188	867,6639	867,6028			867,4233		1512	1378
07-09-04	08:30	867,4574	867,4885	867,6190	867,6636	867,6045			867,4238		1512	1378
08-09-04	10:30	867,4574	867,4889	867,6187	867,6634	867,6043			867,4241		1512	1378
09-09-04	10:30	867,4590	867,4903	867,6201	867,6633	867,6043			867,4234		1512	1378
10-09-04	12:30	867,4585	867,4904	867,6191	867,6634	867,6043			867,4232		1512	1378
11-09-04	10:28	867,4586	867,4906	867,6195	867,6638	867,6045			867,4234		1512	1378
13-09-04	09:30	867,4587	867,4907	867,6193	867,6639	867,6048			867,4234		1512	1378
14-09-04	09:30	867,4583	867,4906	867,6190	867,6635	867,6042			867,4234		1512	1378
16-09-04	10:00	867,4583	867,4904	867,6192	867,6638	867,6043			867,4234		1512	1378
17-09-04	13:00	867,4580	867,4899	867,6193	867,6644	867,6041			867,4234		1512	1378
18-09-04	10:04	867,4583	867,4900	867,6190	867,6646	867,6042			867,4237		1512	1378
20-09-04	08:15	867,4584	867,4907	867,6198	867,6639	867,6047			867,4238		1512	1378
21-09-04	08:50	867,4576	867,4905	867,6195	867,6634	867,6044			867,4238		1512	1378
22-09-04	08:30	867,4578	867,4902	867,6197	867,6630	867,6044			867,4236		1512	1378
24-09-04	08:40	867,4578	867,4901	867,6192	867,6628	867,6047			867,4236		1512	1378
27-09-04	09:15	867,4577	867,4903	867,6195	867,6628	867,6047			867,4238		1512	1378

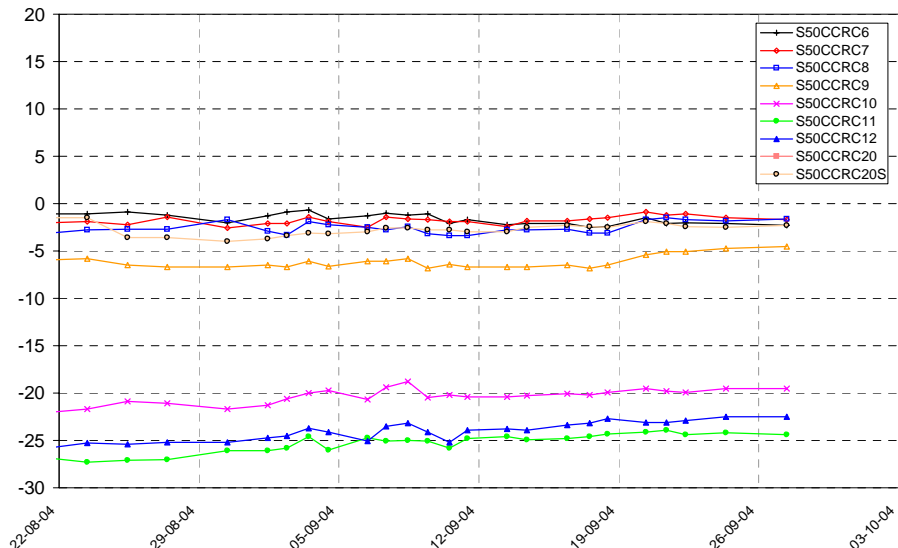
Prog. Frente Excav.											
19-07-04	11:00	-1,1	-0,6	-2,5	-12,6	-7,1	-21,5	-20,9		15.791,7	15.986,5
21-07-04	11:45	-0,1	0,6	-2,0	-12,2	-5,7	-20,9	-21,1		15.791,7	15.986,5
23-07-04	12:00	-0,7	-1,5	-2,4	-13,6	-7,2	-21,8	-20,9		15.791,7	15.986,5
26-07-04	10:30	-0,2	-1,1	-2,8	-13,2	-7,4	-21,9	-21,1		15.791,7	15.986,5
28-07-04	10:15	-0,7	0,0	-3,0	-13,4	-6,9			0,0	15.791,7	15.986,5
30-07-04	10:45	-0,8	0,0	-2,4	-12,6	-6,9			-0,2	15.791,7	15.986,5
02-08-04	11:15	0,7	-0,8	-2,9	-14,0	-7,4			0,8	15.791,7	15.986,5
04-08-04	10:45	-0,4	0,4	-2,4	-13,6	-8,2			1,2	15.791,7	15.986,5
09-08-04	10:45	-0,4	0,9	-1,8	-13,5	-8,5			0,5	15.791,7	15.986,5
11-08-04	12:10	-0,6	0,6	-1,9	-12,9	-8,6			0,5	15.791,7	15.986,5
12-08-04	11:30	-0,2	0,6	-3,2	-12,9	-7,7			0,5	15.791,7	15.986,5
13-08-04	11:15	-0,2	0,0	-2,3	-13,0	-7,7			0,4	15.791,7	15.986,5
18-08-04	09:00	-0,5	-0,8	-3,1	-14,4	-8,6			0,9	15.791,7	15.986,5
20-08-04	10:15	-0,5	0,0	-3,0	-14,8	-8,1			-0,5	15.791,7	15.986,5
23-08-04	09:30	-0,8	-1,4	-2,7	-13,9	-7,8			0,2	15.791,7	15.986,5
25-08-04	10:30	-0,3	-0,9	-3,1	-14,3	-7,5			0,0	15.791,7	15.986,5
27-08-04	10:00	-0,4	-1,7	-2,8	-13,9	-7,5			-0,9	15.791,7	15.986,5
30-08-04	10:15	-0,8	-0,4	-3,2	-14,8	-8,1			-0,5	15.791,7	15.986,5
01-09-04	10:30	-0,5	-0,2	-3,3	-14,7	-7,3			0,1	15.791,7	15.986,5
02-09-04	09:30	-0,5	-0,5	-2,9	-14,5	-6,5			0,4	15.791,7	15.986,5
03-09-04	11:20	-0,1	-0,5	-1,9	-14,0	-8,0			0,7	15.791,7	15.986,5
04-09-04	11:45	-0,7	-1,1	-2,9	-13,1	-7,1			0,5	15.791,7	15.986,5
06-09-04	10:30	-1,0	-0,6	-3,1	-14,2	-9,1			0,1	15.791,7	15.986,5
07-09-04	08:30	-0,6	-0,7	-2,9	-14,5	-7,4			0,6	15.791,7	15.986,5
08-09-04	10:30	-0,6	-0,3	-3,2	-14,7	-7,6			0,9	15.791,7	15.986,5
09-09-04	10:30	1,0	1,1	-1,8	-14,8	-7,6			0,2	15.791,7	15.986,5
10-09-04	12:30	0,5	1,2	-2,8	-14,7	-7,6			0,0	15.791,7	15.986,5
11-09-04	10:28	0,6	1,4	-2,4	-14,3	-7,4			0,2	15.791,7	15.986,5
13-09-04	09:30	0,7	1,5	-2,6	-14,2	-7,1			0,2	15.791,7	15.986,5
14-09-04	09:30	0,3	1,4	-2,9	-14,6	-7,7			0,2	15.791,7	15.986,5
16-09-04	10:00	0,3	1,2	-2,7	-14,3	-7,6			0,2	15.791,7	15.986,5
17-09-04	13:00	0,0	0,7	-2,6	-13,7	-7,8			0,2	15.791,7	15.986,5
18-09-04	10:04	0,3	0,8	-2,9	-13,5	-7,7			0,5	15.791,7	15.986,5
20-09-04	08:15	0,4	1,5	-2,1	-14,2	-7,2			0,6	15.791,7	15.986,5
21-09-04	08:50	-0,4	1,3	-2,4	-14,7	-7,5			0,6	15.791,7	15.986,5
22-09-04	08:30	-0,2	1,0	-2,2	-15,1	-7,5			0,6	15.791,7	15.986,5
24-09-04	08:40	-0,2	0,9	-2,7	-15,3	-7,2			0,4	15.791,7	15.986,5
27-09-04	09:15	-0,3	1,1	-2,4	-15,3	-7,2			0,6	15.791,7	15.986,5

Prog. Frente Excav.											
Grafico de Asentamientos (mm) en funcion del anillo excavado CVD (TUNEL SUR)											
19-07-04	11:00	-1,1	-0,6	-2,5	-12,6	-7,1	-21,5	-20,9		15.791,7	15.986,5
21-07-04	11:45	-0,1	0,6	-2,0	-12,2	-5,7	-20,9	-21,1		15.791,7	15.986,5
23-07-04	12:00	-0,7	-1,5	-2,4	-13,6	-7,2	-21,8	-20,9		15.791,7	15.986,5
26-07-04	10:30	-0,2	-1,1	-2,8	-13,2	-7,4	-21,9	-21,1		15.791,7	15.986,5
28-07-04	10:15	-0,7	0,0	-3,0	-13,4	-6,9			0,0	15.791,7	15.986,5
30-07-04	10:45	-0,8	0,0	-2,4	-12,6	-6,9			-0,2	15.791,7	15.986,5
02-08-04	11:15	0,7	-0,8	-2,9	-14,0	-7,4			0,8	15.791,7	15.986,5
04-08-04	10:45	-0,4	0,4	-2,4	-13,6	-8,2			1,2	15.791,7	15.986,5
09-08-04	10:45	-0,4	0,9	-1,8	-13,5	-8,5			0,5	15.791,7	15.986,5
11-08-04	12:10	-0,6	0,6	-1,9	-12,9	-8,6			0,5	15.791,7	15.986

EPC	Punto	S50BCRC						Prog. Frente Excav.		Sector Estacion Parque Central, GRUPO: S-50B EDIF RES. EL CONDE Prog.16+060	
		S50BCRC3	S50BCRC4	S50BCRC13	S50BCRC14	S50BCRC19	S50BCRC19S	Sur	Norte	Gráfico de Asentamientos (mm) en funcion del tiempo	
19-07-04	11:00	867.5035	867.6205	867.5020	867.4409	870.5802			1512	1378	
21-07-04	11:45	867.5043	867.6208	867.5030	867.4415	870.5802			1512	1378	
23-07-04	12:00	867.5038	867.6193	867.5015	867.4393	870.5791			1512	1378	
26-07-04	10:30	867.5041	867.6192	867.5011	867.4394	870.5789			1512	1378	
28-07-04	10:15	867.5031	867.6202	867.5019	867.4404		867.5421		1512	1378	
30-07-04	10:45	867.5041	867.6202	867.5016	867.4408		867.5423		1512	1378	
02-08-04	11:15	867.5045	867.6200	867.5031	867.4400		867.5417		1512	1378	
04-08-04	10:45	867.5036	867.6207	867.5025	867.4395		867.5427		1512	1378	
09-08-04	10:45	867.5043	867.6211	867.5024	867.4408		867.5425		1512	1378	
11-08-04	12:10	867.5042	867.6209	867.5028	867.4404		867.5420		1512	1378	
12-08-04	11:30	867.5041	867.6206	867.5009	867.4408		867.5413		1512	1378	
13-08-04	11:15	867.5047	867.6210	867.5018	867.4406		867.5425		1512	1378	
18-08-04	09:00	867.5042	867.6199	867.5008	867.4392		867.5408		1512	1378	
20-08-04	10:15	867.5037	867.6200	867.5009	867.4387		867.5404		1512	1378	
23-08-04	09:30	867.5036	867.6198	867.5005	867.4386		867.5408		1512	1378	
25-08-04	10:30	867.5043	867.6195	867.5000	867.4386		867.5411		1512	1378	
27-08-04	10:00	867.5037	867.6195	867.4999	867.4388		867.5411		1512	1378	
30-08-04	10:15	867.5035	867.6202	867.5006	867.4393		867.5406		1512	1378	
01-09-04	10:30	867.5036	867.6202	867.5001	867.4388		867.5419		1512	1378	
02-09-04	09:30	867.5032	867.6204	867.5001			867.5412		1512	1378	
03-09-04	11:20	867.5045	867.6204	867.5011	867.4396		867.5426		1512	1378	
04-09-04	11:45	867.5042	867.6195	867.5008	867.4401		867.5423		1512	1378	
06-09-04	10:30	867.5036	867.6193	867.5014	867.4395		867.5412		1512	1378	
07-09-04	08:30	867.5036	867.6198	867.5010	867.4401		867.5416		1512	1378	
08-09-04	10:30	867.5034	867.6202	867.5009	867.4402		867.5415		1512	1378	
09-09-04	10:30	867.5047	867.6202	867.5008	867.4391		867.5407		1512	1378	
10-09-04	12:30	867.5031	867.6192	867.5013	867.4381		867.5413		1512	1378	
11-09-04	10:28	867.5039	867.6197	867.5019	867.4392		867.5407		1512	1378	
13-09-04	09:30	867.5037	867.6197	867.5012	867.4391		867.5405		1512	1378	
14-09-04	09:30	867.5034	867.6197	867.5009	867.4389		867.5405		1512	1378	
16-09-04	10:00	867.5030	867.6194	867.5006	867.4392		867.5408		1512	1378	
17-09-04	13:00	867.5028	867.6192	867.5006	867.4392		867.5406		1512	1378	
18-09-04	10:04	867.5030	867.6194	867.5007	867.4396		867.5404		1512	1378	
20-09-04	08:15	867.5039	867.6194	867.5019	867.4398		867.5414		1512	1378	
21-09-04	08:50	867.5036	867.6194	867.5014	867.4394		867.5412		1512	1378	
22-09-04	08:30	867.5034	867.6194	867.5011	867.4392		867.5411		1512	1378	
24-09-04	08:40	867.5032	867.6190	867.5012	867.4390		867.5410		1512	1378	
27-09-04	09:15	867.5031	867.6192	867.5010	867.4391		867.5411		1512	1378	
Prog. Frente Excav.										Gráfico de Asentamientos (mm) en funcion del anillo excavado CVD (TUNEL SUR)	
19-07-04	11:00	-0,3	-0,4	-15,4	-12,9	-19,7			15.791,7	15.986,5	
21-07-04	11:45	0,5	-0,1	-14,4	-12,3	-19,7			15.791,7	15.986,5	
23-07-04	12:00	0,0	-1,6	-15,9	-14,5	-20,8			15.791,7	15.986,5	
26-07-04	10:30	0,3	-1,7	-16,3	-14,4	-21,0			15.791,7	15.986,5	
28-07-04	10:15	-0,7	-0,7	-15,5	-13,4		0,0		15.791,7	15.986,5	
30-07-04	10:45	0,3	-0,7	-15,8	-13,0		0,2		15.791,7	15.986,5	
02-08-04	11:15	0,7	-0,9	-14,3	-13,8		-0,4		15.791,7	15.986,5	
04-08-04	10:45	-0,2	-0,2	-14,9	-14,3		0,6		15.791,7	15.986,5	
09-08-04	10:45	0,5	0,2	-15,0	-13,0		0,4		15.791,7	15.986,5	
11-08-04	12:10	0,4	0,0	-14,6	-13,4		-0,1		15.791,7	15.986,5	
12-08-04	11:30	0,3	-0,3	-16,5	-13,0		-0,8		15.791,7	15.986,5	
13-08-04	11:15	0,9	0,1	-15,6	-13,2		0,4		15.791,7	15.986,5	
18-08-04	09:00	0,4	-1,0	-16,6	-14,6		-1,3		15.791,7	15.986,5	
20-08-04	10:15	-0,1	-0,9	-16,5	-15,1		-1,7		15.791,7	15.986,5	
23-08-04	09:30	-0,2	-1,1	-16,9	-15,2		-1,3		15.791,7	15.986,5	
25-08-04	10:30	0,5	-1,4	-17,4	-15,2		-1,0		15.791,7	15.986,5	
27-08-04	10:00	-0,1	-1,4	-17,5	-15,0		-1,0		15.791,7	15.986,5	
30-08-04	10:15	-0,3	-0,7	-16,8	-14,5		-1,5		15.791,7	15.986,5	
01-09-04	10:30	-0,2	-0,7	-17,3	-15,0		-0,2		15.791,7	15.986,5	
02-09-04	09:30	-0,6	-0,5	-17,3			0,1		15.791,7	15.986,5	
03-09-04	11:20	0,7	-0,5	-16,3	-14,2		0,5		15.791,7	15.986,5	
04-09-04	11:45	0,4	-1,4	-16,6	-13,7		0,2		15.791,7	15.986,5	
06-09-04	10:30	-0,2	-1,6	-16,0	-14,3		-0,9		15.791,7	15.986,5	
07-09-04	08:30	-0,2	-1,1	-16,4	-13,7		-0,5		15.791,7	15.986,5	
08-09-04	10:30	-0,4	-0,7	-16,5	-13,6		-0,6		15.791,7	15.986,5	
09-09-04	10:30	0,9	-0,7	-16,6	-14,7		-1,4		15.791,7	15.986,5	
10-09-04	12:30	-0,7	-1,7	-16,1	-15,7		-0,8		15.791,7	15.986,5	
11-09-04	10:28	0,1	-1,2	-15,5	-14,6		-1,4		15.791,7	15.986,5	
13-09-04	09:30	-0,1	-1,2	-16,2	-14,7		-1,6		15.791,7	15.986,5	
14-09-04	09:30	-0,4	-1,2	-16,5	-14,9		-1,6		15.791,7	15.986,5	
16-09-04	10:00	-0,8	-1,5	-16,8	-14,6		-1,3		15.791,7	15.986,5	
17-09-04	13:00	-1,0	-1,7	-16,8	-14,6		-1,5		15.791,7	15.986,5	
18-09-04	10:04	-0,8	-1,5	-16,7	-14,2		-1,7		15.791,7	15.986,5	
20-09-04	08:15	0,1	-1,5	-15,5	-14,0		-0,7		15.791,7	15.986,5	
21-09-04	08:50	-0,2	-1,5	-16,0	-14,4		-0,9		15.791,7	15.986,5	
22-09-04	08:30	-0,4	-1,5	-16,3	-14,6		-1,0		15.791,7	15.986,5	
24-09-04	08:40	-0,6	-1,9	-16,2	-14,8		-1,1		15.791,7	15.986,5	
27-09-04	09:15	-0,7	-1,7	-16,4	-14,7		-1,0		15.791,7	15.986,5	
										Gráfico de Asentamientos (mm) en funcion del anillo excavado CVI (TUNEL NORTE)	
19-07-04	11:00	-0,3	-0,4	-15,4	-12,9	-19,7			15.791,7	15.986,5	
21-07-04	11:45	0,5	-0,1	-14,4	-12,3	-19,7			15.791,7	15.986,5	
23-07-04	12:00	0,0	-1,6	-15,9	-14,5	-20,8			15.791,7	15.986,5	
26-07-04	10:30	0,3	-1,7	-16,3	-14,4	-21,0			15.791,7	15.986,5	
28-07-04	10:15	-0,7	-0,7	-15,5	-13,4		0,0		15.791,7	15.986,5	
30-07-04	10:45	0,3	-0,7	-15,8	-13,0		0,2		15.791,7	15.986,5	
02-08-04	11:15	0,7	-0,9	-14,3	-13,8		-0,4		15.791,7	15.986,5	
04-08-04	10:45	-0,2	-0,2	-14,9	-14,3		0,6		15.791,7	15.986,5	
09-08-04	10:45	0,5	0,2	-15,0	-13,0		0,4		15.791,7	15.986,5	
11-08-04	12:10	0,4	0,0	-14,6	-13,4		-0,1		15.791,7	15.986,5	
12-08-04	11:30	0,3	-0,3	-16,5	-13,0		-0,8		15.791,7	15.986,5	
13-08-04	11:15	0,9	0,1	-15,6	-13,2		0,4		15.791,7	15.986,5	
18-08-04	09:00	0,4	-1,0	-16,6	-14,6		-1,3		15.791,7	15.986,5	
20-08-04	10:15	-0,1	-0,9	-16,5	-15,1		-1,7		15.791,7	15.986,5	
23-08-04	09:30	-0,2	-1,1	-16,9	-15,2		-1,3		15.791,7	15.986,5	
25-08-04	10:30	0,5	-1,4	-17,4	-15,2		-1,0		15.791,7	15.986,5	
27-08-04	10:00	-0,1	-1,4	-17,5	-15,0		-1,0		15.791,7	15.986,5	
30-08-04	10:15	-0,3	-0,7	-16,8	-14,5		-1,5		15.791,7	15.986,5	
01-09-04	10:30	-0,2	-0,7	-17,3	-15,0		-0,2		15.791,7	15.986,5	
02-09-04	09:30	-0,6	-0,5	-17,3			0,1		15.791,7	15.986,5	
03-09-04	11:20	0,7	-0,5	-16,3	-14,2		0,5		15.791,7	15.986,5	
04-09-04	11:45	0,4	-1,4	-16,6	-13,7		0,2		15.791,7	15.986,5	
06-09-04	10:30	-0,2	-1,6	-16,0	-14,3		-0,9		15.791,7	15.986,5	
07-09-04	08:30	-0,2	-1,1	-16,4	-13,7		-0,5		15.791,7	15.986,5	
08-09-04	10:30	-0,4	-0,7	-16,5	-13,6		-0,6		15.791,7	15.986,5	
09-09-04	10:30	0,9	-0,7	-16,6	-14,7		-1,4		15.791,7	15.986,5	
10-09-04	12:30	-0,7	-1,7	-16,1	-15,7		-0,8		15.791,7	15.986,5	
11-09-04	10:28	0,1	-1,2	-15,5	-14,6		-1,4		15.791,7	15.986,5	
13-09-04	09:30	-0,1	-1,2	-16,2	-14,7		-1,6		15.791,7	15.986,5	
14-09-04	09:30	-0									

EPC	Punto	S50CCRC6	S50CCRC7	S50CCRC8	S50CCRC9	S50CCRC10	S50CCRC11	S50CCRC12	S50CCRC20	S50CCRC20S	Prog. Frente Excav.	Sur	Norte
19-07-04	11:00	867.4975	867.6019	867.5618	867.5207	867.4773	867.4454	867.4529	870.8112	867.6425		1512	1378
21-07-04	11:45	867.4966	867.6006	867.5599	867.5155	867.4573	867.4208	867.4283	870.7920			1512	1378
23-07-04	12:00	867.4971	867.6006	867.5604	867.5160	867.4572	867.4207	867.4298	870.7922			1512	1378
26-07-04	10:30	867.4962	867.5991	867.5598	867.5151	867.4569	867.4192	867.4279	870.7908			1512	1378
28-07-04	10:15	867.4962	867.5999	867.5599	867.5150	867.4571	867.4207	867.4278				1512	1378
30-07-04	10:15	867.4963	867.6006	867.5598	867.5153	867.4568	867.4196	867.4278		867.6425	1512	1378	
02-08-04	11:15	867.4962	867.6014	867.5600	867.5151	867.4575	867.4204	867.4286		867.6423	1512	1378	
04-08-04	11:15	867.4971	867.6014	867.5600	867.5154	867.4581	867.4208	867.4296		867.6428	1512	1378	
09-08-04	10:45	867.4964	867.6014	867.5600	867.5151	867.4576	867.4206	867.4287		867.6429	1512	1378	
11-08-04	12:10	867.4970	867.6010	867.5590	867.5149	867.4569	867.4202	867.4285		867.6419	1512	1378	
12-08-04	11:30	867.4965	867.6005	867.5592	867.5153	867.4569	867.4209	867.4287		867.6419	1512	1378	
13-08-04	11:15	867.4968	867.5994	867.5588	867.5140	867.4561	867.4188	867.4278		867.6420	1512	1378	
18-08-04	09:00	867.4968	867.6008	867.5590	867.5144	867.4554	867.4199	867.4286		867.6414	1512	1378	
20-08-04	10:15	867.4964	867.5998	867.5585	867.5147	867.4551	867.4188	867.4268		867.6410	1512	1378	
23-08-04	09:30	867.4964	867.6000	867.5590	867.5149	867.4556	867.4181	867.4276		867.6410	1512	1378	
25-08-04	10:30	867.4966	867.5997	867.5591	867.5142	867.4564	867.4183	867.4275		867.6389	1512	1378	
27-08-04	10:00	867.4963	867.6005	867.5591	867.5140	867.4562	867.4184	867.4277		867.6389	1512	1378	
30-08-04	10:15	867.4955	867.5993	867.5601	867.5140	867.4556	867.4193	867.4277		867.6385	1512	1378	
01-09-04	10:30	867.4962	867.5998	867.5589	867.5142	867.4560	867.4193	867.4282		867.6388	1512	1378	
02-09-04	09:30	867.4966	867.5998	867.5585	867.5140	867.4567	867.4196	867.4284		867.6391	1512	1378	
03-09-04	11:20	867.4968	867.6005	867.5599	867.5146	867.4573	867.4208	867.4292		867.6394	1512	1378	
04-09-04	11:45	867.4959	867.5996	867.5596	867.5141	867.4576	867.4194	867.4288		867.6393	1512	1378	
06-09-04	10:30	867.4962	867.5994	867.5593	867.5146	867.4566	867.4207	867.4278		867.6395	1512	1378	
07-09-04	08:30	867.4965	867.6005	867.5590	867.5146	867.4579	867.4203	867.4294		867.6399	1512	1378	
08-09-04	10:30	867.4963	867.6003	867.5594	867.5149	867.4585	867.4204	867.4297		867.6399	1512	1378	
09-09-04	10:30	867.4964	867.6002	867.5586	867.5139	867.4568	867.4203	867.4288		867.6397	1512	1378	
10-09-04	12:30	867.4954	867.6000	867.5584	867.5143	867.4571	867.4196	867.4277		867.6397	1512	1378	
11-09-04	10:28	867.4958	867.6000	867.5584	867.5140	867.4569	867.4206	867.4290		867.6395	1512	1378	
13-09-04	09:30	867.4953	867.5995	867.5590	867.5140	867.4569	867.4208	867.4291		867.6395	1512	1378	
14-09-04	09:30	867.4954	867.6001	867.5590	867.5140	867.4570	867.4205	867.4290		867.6400	1512	1378	
16-09-04	10:00	867.4954	867.6001	867.5591	867.5142	867.4572	867.4206	867.4295		867.6402	1512	1378	
17-09-04	13:00	867.4950	867.6003	867.5587	867.5139	867.4571	867.4208	867.4297		867.6401	1512	1378	
18-09-04	10:04	867.4951	867.6004	867.5587	867.5142	867.4574	867.4211	867.4302		867.6400	1512	1378	
20-09-04	08:15	867.4960	867.6010	867.5601	867.5153	867.4578	867.4213	867.4298		867.6406	1512	1378	
21-09-04	08:50	867.4954	867.6007	867.5603	867.5156	867.4575	867.4215	867.4298		867.6404	1512	1378	
22-09-04	08:30	867.4955	867.6008	867.5601	867.5156	867.4574	867.4210	867.4300		867.6401	1512	1378	
24-09-04	08:40	867.4954	867.6004	867.5600	867.5160	867.4578	867.4212	867.4304		867.6400	1512	1378	
27-09-04	09:15	867.4952	867.6002	867.5602	867.5162	867.4578	867.4210	867.4304		867.6402	1512	1378	

Gráfico de Asentamientos (mm) en funcion del tiempo



Fecha	Hora	S50CCRC6	S50CCRC7	S50CCRC8	S50CCRC9	S50CCRC10	S50CCRC11	S50CCRC12	S50CCRC20	S50CCRC20S	Prog. Frente Excav.	Sur	Norte
19-07-04	11:00	-0,9	-1,3	-1,9	-5,2	-20,0	-24,6	-24,6	-19,2	15.791,7	15.986,5		
21-07-04	11:45	-0,4	-1,3	-1,4	-4,7	-20,1	-24,7	-23,1	-19,0	15.791,7	15.986,5		
23-07-04	12:00	-1,3	-2,8	-2,0	-5,6	-20,4	-26,2	-25,0	-20,4	15.791,7	15.986,5		
26-07-04	10:30	-1,3	-2,0	-1,9	-5,7	-20,2	-24,7	-25,1	-20,4	15.791,7	15.986,5		
28-07-04	10:15	-1,2	-1,3	-2,0	-5,4	-20,5	-25,8	-25,1	0,0	15.791,7	15.986,5		
30-07-04	10:45	-1,3	-0,5	-1,8	-5,6	-19,8	-25,0	-24,3	-0,2	15.791,7	15.986,5		
02-08-04	11:15	-0,4	-0,5	-1,8	-5,3	-19,2	-24,6	-23,3	0,3	15.791,7	15.986,5		
04-08-04	10:45	-1,1	-0,5	-2,5	-5,6	-19,7	-24,8	-24,2	0,4	15.791,7	15.986,5		
09-08-04	10:45	-0,5	-0,9	-2,8	-5,8	-20,4	-25,2	-24,4	-0,6	15.791,7	15.986,5		
11-08-04	12:10	-1,0	-1,4	-2,6	-5,4	-20,4	-24,5	-24,2	-0,6	15.791,7	15.986,5		
12-08-04	11:30	-0,7	-2,5	-3,0	-6,7	-21,2	-26,6	-25,1	-0,5	15.791,7	15.986,5		
13-08-04	11:15	-0,3	-2,9	-2,1	-5,8	-20,9	-24,0	-24,0	-1,8	15.791,7	15.986,5		
18-08-04	09:00	-0,7	-1,1	-2,8	-6,3	-21,9	-25,5	-24,3	-1,1	15.791,7	15.986,5		
20-08-04	10:15	-1,1	-2,1	-3,3	-6,0	-22,2	-26,6	-26,1	-1,5	15.791,7	15.986,5		
23-08-04	09:30	-1,1	-1,9	-2,8	-5,8	-21,7	-27,3	-25,3	-1,5	15.791,7	15.986,5		
25-08-04	10:30	-0,9	-2,2	-2,7	-6,5	-20,9	-27,1	-25,4	-3,6	15.791,7	15.986,5		
27-08-04	10:00	-1,2	-1,4	-2,7	-6,7	-21,1	-27,0	-25,2	-3,6	15.791,7	15.986,5		
30-08-04	10:15	-2,0	-2,6	-1,7	-6,7	-21,7	-27,0	-25,2	-4,0	15.791,7	15.986,5		
01-09-04	10:30	-1,3	-2,1	-2,9	-6,5	-21,3	-26,1	-24,7	-3,7	15.791,7	15.986,5		
02-09-04	09:30	-0,9	-2,1	-3,3	-6,7	-20,6	-25,8	-24,5	-3,4	15.791,7	15.986,5		
03-09-04	11:20	-0,7	-1,4	-1,9	-6,1	-20,0	-24,6	-23,7	-3,1	15.791,7	15.986,5		
04-09-04	11:45	-1,6	-1,9	-2,2	-6,6	-19,7	-26,0	-24,1	-3,2	15.791,7	15.986,5		
06-09-04	10:30	-1,3	-2,5	-2,5	-6,1	-20,7	-24,7	-25,1	-3,0	15.791,7	15.986,5		
07-09-04	08:30	-1,0	-1,4	-2,8	-6,1	-19,4	-25,1	-23,5	-2,6	15.791,7	15.986,5		
08-09-04	10:30	-1,2	-1,6	-2,4	-5,8	-18,8	-25,0	-23,2	-2,6	15.791,7	15.986,5		
09-09-04	10:30	-1,1	-1,7	-3,2	-6,8	-20,5	-25,1	-24,1	-2,8	15.791,7	15.986,5		
10-09-04	12:30	-2,1	-1,9	-3,4	-6,4	-20,2	-25,8	-25,2	-2,8	15.791,7	15.986,5		
11-09-04	10:28	-1,7	-1,9	-3,4	-6,7	-20,4	-24,8	-23,9	-3,0	15.791,7	15.986,5		
13-09-04	09:30	-2,2	-2,4	-2,8	-6,7	-20,4	-24,6	-23,8	-3,0	15.791,7	15.986,5		
14-09-04	09:30	-2,1	-1,8	-2,8	-6,7	-20,3	-24,9	-23,9	-2,5	15.791,7	15.986,5		
16-09-04	10:00	-2,1	-1,8	-2,7	-6,5	-20,1	-24,8	-23,4	-2,3	15.791,7	15.986,5		
17-09-04	13:00	-2,5	-1,6	-3,1	-6,8	-20,2	-24,6	-23,2	-2,4	15.791,7	15.986,5		
18-09-04	10:04	-2,4	-1,5	-3,1	-6,5	-19,9	-24,3	-22,7	-2,5	15.791,7	15.986,5		
20-09-04	08:15	-1,5	-0,9	-1,7	-5,4	-19,5	-24,1	-23,1	-1,9	15.791,7	15.986,5		
21-09-04	08:50	-2,1	-1,2	-1,5	-5,1	-19,8							