

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS TRINCHERA ABIERTA E INVERTIDO
UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES PARQUE
CENTRAL-LÍNEA 4 Y COCHE-LÍNEA 3 DEL METRO DE CARACAS**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

De Brito Josmar

Vegas Florhermis

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2007

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS TRINCHERA ABIERTA E INVERTIDO
UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES PARQUE
CENTRAL-LÍNEA 4 Y COCHE-LÍNEA 3 DEL METRO DE CARACAS**

TUTOR ACADEMICO: Prof. José Manuel Velásquez

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

De Brito Josmar

Vegas Florhermis

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2007

ACTA

El día 05/11/07 se reunió el jurado formado por los profesores:

José Manuel Velásquez
Bernarda Romero
FRANCESCO AMENDOLA CASTELLO

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: "ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS TRADICIONAL E INVERTIDOS UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES PARQUE CENTRAL-LÍNEA 4 Y COCHE-LÍNEA 3 DEL METRO DE CARACAS".

Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**.

Una vez oída la defensa oral que de las bachilleres hicieron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Br. Florhermis Vegas	20	Veinte
Br. Josmar De Brito	20	Veinte

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO

José Manuel Velásquez
Bernarda Romero
Francisco Amendola Castello

Caracas, 05 de 11 de 2007

Aprobado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Civil en la Sesión del 13/02/2006

DEDICATORIA

A mi guía, mi guardián (DIOS) a quien debo la vida y la fortuna de tener una FAMILIA maravillosa, a tí, mi protector, por permitirme la satisfacción de disfrutar cada logro, el coraje para enfrentar nuevos retos, la madurez para entender cuando las cosas llegan a su fin y el don del perdón.

A mi familia a quien debo todo lo que soy y lo que tengo, son el mayor y mejor regalo que Dios pudo darme, papá, mamá mi amor por ustedes es tan grande que es imposible que puedan cuantificarlo, solo me queda darle gracias a Dios por haberlos elegido como mis padres, los amo hasta el infinito, gracias, mil gracias por todo! Papi cuanta razón tenias cuando me decías que lo mas importante es la familia, no sabes cuanto lo entiendo, no existe un día en este mundo que no agradezca tenerlos como Padres, son mi mas grande inspiración.

Bueno, como no mencionar a dos seres extraordinarios que han llenado mi vida de felicidad, mis hermanas Margerly y Marbely, las AMO mas que a mi propia vida, Dios no solo me premió con unos grandiosos padres, sino que me regaló la dicha de tener a mi lado a dos grandes mujeres que hoy son para mi una razón mas para existir y vivir la vida intensamente.

Alfre, como no incluirte en mi dedicatoria si durante toda mi carrera fuiste mi apoyo incondicional, cuantos desvelos, cuantas carreras, cuantas alegrías, cuantos recuerdos, gracias por todo, Te quiero Muchísimo!!.

A mis amigos, Juan, Jorge, Dennys, Jhonny y en especial a mi amiga Josmar y Maria quienes me acompañaron, me apoyaron y me aconsejaron durante toda mi carrera, gracias a todos por haber convertido mis días en la universidad más agradables, los quiero muchísimo!!!.

Florhermis Vegas

DEDICATORIA

A mi mamá Eli porque todo lo que soy se lo debo a ella, porque la vida no se da el día en que nacemos, sino cada día que vivimos después. Porque el verdadero alimento es el amor, entrega y dedicación, simplemente sin ella no estaría hoy aquí y no habría podido recorrer este largo camino.

A Pai y Manguida, por haberme cuidado como a una hija, porque cada día que vivieron a mi lado fue para hacerme feliz, por darme los mejores y más bonitos momentos de mi vida, por todo su amor, sus valores y principios, los amo y extraño mucho.

A mi papá por existir y siempre estar allí, por alegrarme la vida porque a pesar de la distancia eres una de las personas más cercanas, por toda tu confianza y por ser yo el tema de conversación favorito con tus amigos.

A Fer, Casimiro y Josué porque me regalan la oportunidad de pasar cada día de mi vida a su lado. A mis amigos Lorena, Cristal, María, Jolly, Tony, Juan, Jorge, Aurimar y Carlos porque a través de su amistad me han construido y me siguen construyendo cada día, por estar a mi lado en los momentos difíciles. A mi amiga Flor porque has sido mi compañera y amiga incondicional en todo momento, porque con tu ejemplo me enseñas a vivir la vida con una sonrisa. A mi novio Randolph porque te has convertido en mi mejor amigo, porque me inspiras a ser una mejor persona cada día y en tu compañía disfruto cada día al máximo, porque me enseñas a ser feliz.

A Jorge Andrés por que sin el dinero “prestado para los pasajes” nunca habría podido llegar a la Universidad, porque parte de lo que soy eres tú.

A la Universidad Central de Venezuela, a sus bibliotecas, salones, y pizarrones, a su Autonomía y libertad, porque es y será “La Casa que Vence las Sombra”.

“Porque veo al final de mi rudo camino que soy el arquitecto de mi propio destino...”

AMADO NERVO

Josmar De Brito

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos la oportunidad de existir y de premiarnos con una grandiosa familia y bueno amigos.

Al profesor José Manuel Velásquez por su tutoría y orientación durante la realización de este Trabajo Especial de Grado.

A los profesores Bernarda Romero, Steve Merlo y Alba López, por su colaboración, orientación y revisión cada vez que fue necesario.

A la Constructora Odebrecht, por toda la colaboración prestada, tanto del material nivel informativo como a la experiencia del personal que trabajó en la construcción de la Estación Parque Central y los que trabajan en la construcción de la estación de Coche.

Al C.A. Metro de Caracas quienes estuvieron siempre a la orden para prestar cualquier información necesaria para el desarrollo de este trabajo Especial de Grado.

A Eduardo Clavel por toda la ayuda en el arte final planteado en el presente Trabajo Especial de Grado.

A María Delpino y Karina Guzmán por la colaboración con el material necesario para realizar este Trabajo Especial de Grado.

De Brito T.; Josmar E y Vegas O.; Florhermis
ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS TRADICIONAL E INVERTIDOS UTILIZADOS
PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES PARQUE CENTRAL-LÍNEA
4 Y COCHE-LÍNEA 3 DEL METRO DE CARACAS

Tutor: José Manuel Velásquez

Trabajo Especial de Grado. Ciudad Universitaria de Caracas, Facultad de Ingeniería.
Escuela de Ingeniería Civil. 2007. 127 Págs

Palabras Claves: método constructivo, trinchera, método invertido, estación

En el marco de este estudio se analizaron las metodologías para la construcción de las estaciones subterráneas Parque Central y Coche del Metro de Caracas, se describieron los métodos utilizados en función del entorno, características geológicas y geotécnicas, estructura de la estación y la secuencia de pasos realizados para alcanzar con éxito la culminación de los trabajos, se sintetizaron las modificaciones y dificultades presentadas durante la ejecución de la obra, por otra parte se contrastó las estructuras y actividades mas relevantes así como las ventajas y desventajas de los métodos en su contexto original, todo esto fue posible mediante la búsqueda de material bibliográfico, visita de campo y entrevistas a los ingenieros que participaron en éstos proyectos.

Después de realizar el análisis del estudio, se obtuvo que tanto el Método Trinchera Abierta como el Invertido resultaron factibles para la construcción de las estaciones en estudio, sin embargo se pudo observar que la influencia de factores externos propiciaron algunas consideraciones que dificultaron los trabajos y extendieron los tiempos de ejecución El método Trinchera arrojó un mayor impacto al medio y a la comunidades vecinas donde se desarrollaron éstas obras, por la necesidad de tener que realizar la excavación sin la ejecución de la losa techo y poder restituir la superficie solo hasta el final de la construcción de la estación, a diferencia del Método Invertido que por su secuencia constructiva permitió ejecutar la losa de techo en su fase inicial y realizar la reubicación de los servicios públicos y la restitución de superficie mucho antes de su culminación.

El Método Invertido presentó una metodología menos compleja debido a que al formar los muros colados parte de la estructura definitiva y al trabajar de arriba hacia abajo eliminaba muchas de las actividades de Trinchera Abierta como lo fue: la construcción de muros internos, la colocación de anclajes y puntales para el sostenimiento de los muros y el uso de andamios y encofrados para el vaciado de las losas, incidiendo todo esto directamente en los tiempo de ejecución.

Se recomienda realizar un estudio enfocado a la medición de los parámetros tiempo y costo, así como la posibilidad de estudiar la factibilidad de crear un nuevo método aprovechando las ventajas de ambos.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. PROBLEMA	3
I.1.- Planteamiento del Problema	3
I.2.- Objetivos	6
I.2.1. Objetivo General	6
I.2.2. Objetivos Específicos	6
I.3.- Aportes	7
I.4.- Alcances y Limitaciones	9
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	10
II.1.- Antecedentes de la investigación	10
II.2.- Reseña histórica del Metro de Caracas	11
II.3.- Descripción del proyecto Línea 4	13
II.4.- Descripción del proyecto Línea 3	14
II.5.- Sistema de Metro ligero	15
II.6.- Estructura física de un sistema de metro	15
II.7.- Proceso constructivo de las estaciones y trincheras de un sistema metro	18
II.7.1. Obras de preconstrucción	18
II.7.2. Construcción del sistema de contención	21
II.7.2.1. El muro colado como sistema de contención	22
II.7.2.2. Aspectos Técnicos de las Pantallas	23
II.7.2.3. Jet Grouting	26
II.8.- Anclajes	27
II.8.1. Ventajas	27
II.9.- Nivel Freático	29
II.9.1. Rebajamiento del Nivel Freático	29
II.9.2. Pozos de Bombeo	29

II.9.3. Well-Point	30
II.10. Vitro Resina	30
II.11. Restitución de Superficie	31
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	37
III.1.- Nivel de investigación	37
III.2.- Tipo de la investigación	37
III.3.- Objeto de estudio	37
III.4.- Técnicas de recolección y procesamiento de datos	39
III.5.- Desarrollo de los objetivos	40
CAPÍTULO IV. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS PARA ESTACIONES DE METRO	41
IV.1.-Método Trinchera Abierta	41
IV.1.1 Preparación de sitio	41
IV.1.2 Estructuras de contención	41
IV.1.3 Arriostramiento de Estructuras de Contención	43
IV.1.4. Excavación	44
IV.1.5. Estructura Interna	45
IV.1.6. Reubicación de Servicios Públicos	46
IV.2.-Ventajas y desventajas del método trinchera abierta	46
IV.2.1. Ventajas	46
IV.2.2. Desventajas	47
IV.3.- Método Invertido	48
IV.3.1. Excavación Calle-Techo	49
IV.3.2. Descabezamiento de Muro Colado	50
IV.3.3. Empotramiento de Losa	50
IV.3.4. Excavación Techo-Mezzanina	50
IV.3.5. Excavación Mezzanina-Base	51
IV.3.6. Conformación del Terreno	51

IV.3.7. Colocación de Concreto Pobre	51
IV.3.8. Armado de Losa	52
IV.3.9. Vaciado de losa	52
IV.4.-Ventajas y desventajas del método Invertido	53
IV.4.1. Ventajas	53
IV.4.2. Desventajas	54
IV.5.- Contraste del método trinchera abierta e invertido	56

CAPÍTULO V. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS UTILIZADOS EN LAS ESTACIONES PARQUE CENTRAL Y COCHE DEL METRO DE CARACAS 59

V.1.-Estación Parque Central	59
V.1.1. Entorno	59
V.1.2. Aspectos Geológicos y Geotécnicos	60
V.1.3. Estructura de la estación Parque Central	61
V.1.4. Método constructivo Trinchera Abierta	63
V.2.- Dificultades en la aplicación del método	70
V.2.1. Centro Residencial El Conde	70
V.2.2. Complejo Parque Central	75
V.2.3. Túnel de Línea	77
V.2.4. Nivel Freático	79
V.3.- Estación Coche	81
V.3.1. Entorno	81
V.3.2. Aspectos Geológicos y Geotécnicos	82
V.3.3. Estructura de la estación Coche	83
V.3.4. Método Constructivo Invertido	84
V.4.- Dificultades en la aplicación del método	97
V.4.1. Vía férrea en funcionamiento VRZD	97
V.4.2. Construcción de muro central	98
V.4.3. Limitación de excavación	98
V.4.4. Presencia del nivel freático	99

V.4.5. Tubería de acueducto de 72" de diámetro	100
V.4.6. Construcción del Foso Sur	100
V.4.7. Construcción de Foso Norte	101
CAPÍTULO VI. ANALISIS DE LOS MÉTODOS INVERTIDO Y TRINCHERA	
ABIERTA	106
VI.1.- Preparación del sitio	106
VI.2.- Impacto social y ambiental	106
VI.3.- Excavación	107
VI.4.- Colocación de encofrados	107
VI.5.- Estructuras de contención	108
VI.6.- Ventilación e iluminación artificial	109
VI.7.- Presencia del nivel freático	109
VI.8.- Instalación de instrumentación	110
VI.9.- Cantidad de acero y concreto	110
VI.10.- Tiempo de ejecución	113
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	114
Conclusiones	114
Recomendaciones	116
BIBLIOGRAFÍA	117
GLOSARIO DE TÉRMINOS	118
ANÉXOS	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.4.1 - Alineamiento Línea 3	14
Figura IV.1.2.1 – Estructura de contención muros colados anclados	42
Figura IV.1.2.1 – Estructura de contención con muro colado y talud a desnivel	43
Figura IV.3.1 – Sección típica del Método Invertido	49
Figura V.1.1.1 – Ubicación y Entorno de la Estación Parque Central	60
Figura V.1.3.1 – Planta de la estación Parque Central	62
Figura V.1.4.1 – Ejecución de <i>jet-grouting</i> en los portales de los túneles	64
Figura V.1.4.2 –Planta de ejecución de primera fase de muros colados y tablero	65
Figura V.1.4.3 – Corte de excavación área Centro Residencial El Conde.	67
Figura V.1.4.4 – Planta de ejecución de segunda fase de muros colados	68
Figura V.1.4.5 – Corte de segunda fase de muros colados y apuntalamiento	68
Figura V.1.4.6 – Corte de estructura interna de la Estación	69
Figura V.2.1.1 – Centro Residencial El Conde al inicio de las actividades	70
Figura V.2.1.2 – Croquis de la Estructura del Centro Residencial el Conde	71
Figura V.2.1.3 – Excavación frente al Centro Residencial El Conde	73
Figura V.2.1.4- Planta de Inyecciones de <i>jet-grouting</i>	74
Figura V.2.1.5- Excavación estación Parque Central	75
Figura V.2.2.1- Corte en muro Berlín y vigas metálicas	76
Figura 2.3.1 – Demolición del túnel.	77
Figura 2.3.2 – Excavación parcializada en la región del Centro Residencial El Conde	78
Figura V.2.4.1 – Sistema de abatimiento de la Estación Parque Central	80
Figura V.3.1.1 – Planta estación Coche	82
Figura V.3.3.2- Sección transversa de la estación Coche	83
Figura V.3.4.1 – Demolición de inmuebles	84
Figura V.3.4.2 – Ubicación de Foso Norte	86
Figura V.3.4.3 – Foso Norte	87
Figura V.3.4.4 – Colocación de armaduras en muros colados	88

Figura V.3.4.5 – Vaciado del Muro Colado	88
Figura V.3.4.6 – Ubicación de Foso Norte	89
Figura V.3.4.7 – Excavación Calle-Techo	90
Figura V.3.4.8 – Descabezamiento de Muro Colado	90
Figura V.3.4.9 – Vaciado de la losa techo entre los ejes 3-9/A-D.	92
Figura V.3.4.10 – Excavación Techo-Mezzanina.	93
Figura V.3.4.12 – Losa Mezzanina	94
Figura V.3.4.13 – Excavación Mezzanina-Base	95
Figura V.3.4.14 – Colocación de acero en losa base	96
Figura V.4.7.1 – Perforación de anclajes	102
Figura V.4.7.2 – Muro estructural interno	103
Figura V.4.7.4 – Cota inferior de la losa techo entre ejes 0-3.	104
Figura V.4.7.5 – Cerramiento provisional	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Contraste del Método Invertido y Trinchera Abierta	56
Tabla VI.9.1- Resumen de Cantidades de Obra Línea 3	111
Tabla VI.9.2- Resumen de Cantidades de Obra Línea 4	111
Tabla VI.9.3- Relaciones de Concreto y acero por m ² de estación	112
Tabla VI.9.4- Relaciones de Concreto y acero por m ² de estación	112

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los proyectos de cualquiera de las especialidades de Ingeniería Civil culminan en una obra que generalmente posee una estructura que se desea construir; por ejemplo un edificio, una carretera, un puente, una planta de tratamiento de agua o una represa, necesitan desarrollar a través de la planificación y una secuencia constructiva la metodología que permita organizar y establecer las principales actividades a desarrollar para culminar con éxito la obra contemplada. Esta metodología permite realizar cronogramas, planificar actividades, estimar tiempos de ejecución, priorizar tareas, independizar trabajos y crear orden en la realización de las actividades.

La construcción de estaciones subterráneas de Metro en la ciudad de Caracas, una urbe densamente poblada, con la mayoría de los servicios públicos subterráneos, una vialidad colapsada por el tráfico, suelo heterogéneo y nivel freático elevado, se torna una obra compleja y se hace indispensable el desarrollo de una metodología constructiva eficiente. Actualmente existen varias metodologías y en Venezuela se ha utilizado la Trinchera Abierta en la Construcción de la Línea 1, Línea 2, y Línea 4 del Metro de Caracas y el Método Invertido en la Línea 3, utilizado por primera vez en nuestro país.

Las metodologías estudiadas en el presente trabajo son las aplicadas en la estación Parque Central de la Línea 1, en la cual se utilizó Trinchera Abierta y la estación Coche de la Línea 3 en la que se usa el Método Invertido, ambas metodologías son analizadas y comparadas además de recopilar las experiencias y soluciones que se desarrollaron durante su construcción.

En el primer Capítulo de este Trabajo Especial de Grado se plantea la problemática y se describe el objeto a estudiar, se establecen los objetivos, aportes, alcances y limitaciones. En el segundo Capítulo se muestran las bases teóricas y conceptos necesarios para el desarrollo de las metodologías, se explican y se detallan las principales actividades

mencionadas además de una reseña histórica sobre los proyectos a los cuales pertenecen las estaciones en estudio.

El tercer Capítulo describe los pasos y procedimientos a seguir para el cumplimiento de los objetivos, se detallan cada una de las actividades de recopilación, investigación y análisis, se describen las entrevistas realizadas a los colaboradores y visitas técnicas necesarias para el desarrollo del presente Trabajo Especial de Grado.

El cuarto Capítulo presenta una descripción de las dos metodologías en estudio, de manera general para su aplicación a cualquier contexto, se contrastan sus elementos y principales actividades y se analizan las ventajas y desventajas de cada una para establecer los beneficios o inconvenientes en futuras aplicaciones.

El quinto y sexto Capítulo constan de la descripción y análisis de la metodología Trincheras Abiertas utilizada en Parque Central y el Método Invertido utilizado en Coche, se describe el entorno, los aspectos geológicos y geotécnicos, se hace una descripción estructural de las Estaciones y por último se detallan los principales problemas y sus soluciones en el desarrollo de estas obras.

El presente Trabajo Especial de Grado tiene por objetivo el estudio de estas metodologías lo cual es importante porque seguirán siendo usadas en el futuro, ya que la red del sistema subterráneo del Metro de Caracas está congestionada y se ha planteado para satisfacer la creciente demanda de usuarios la construcción de nuevas líneas, por lo que se han proyectado 10 nuevas estaciones en esta ciudad, por otra parte en otras ciudades del País como Los Teques, Valencia, Maracaibo, Guarenas y Guatire ya se han iniciado trabajos para la construcción de más redes subterráneas que ayuden a minimizar sus problemas de tráfico, por lo cual este trabajo puede ser de gran ayuda al momento de escoger alguna de estas metodologías en la construcción de las futuras Estaciones.

CAPÍTULO I

PROBLEMA

I.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para la ejecución de obras subterráneas son muchos los métodos existentes, no obstante, cada uno posee una serie de características propias que lo definen y diferencian. Para este Trabajo Especial de Grado los métodos constructivos a analizar son el Método Invertido y el Método Trinchera Abierta, si bien cada uno ofrece el mismo resultado final que es la construcción de una Estación de Metro subterránea, surge la interrogante de cuál es el más apropiado.

Cada método ofrece diferentes alternativas de ejecución, con logísticas totalmente distintas y que, sin embargo, son ejecutables todas; alguno puede tornarse más beneficioso que el otro y para tomar la decisión más favorable surge la necesidad de examinar en profundidad las ventajas y desventajas de cada uno, seleccionando de esta forma el más apropiado.

Al compararse los métodos constructivos podría llegarse a que ambos son factibles y beneficiosos, con lo cual deberían ser evaluados en función de tiempo, producción, costo, o afectación al medio, para entonces presentar la mejor alternativa según la meta planteada.

Para el análisis de los métodos constructivos se tomarán las estaciones del Metro de Caracas: Parque Central (Línea 4) por haberse construido por el Método Trinchera Abierta y Coche (Línea 3) por estar construyéndose actualmente con el Método Invertido; ambas están bajo la misma condición de estar ubicadas en zonas ya pobladas y sin embargo, se utilizaron metodologías constructivas distintas, debe entonces evaluarse cuál es

más productiva y beneficiosa en cada caso, para aplicar estos resultados a futuras construcciones similares.

Por tratarse de construcciones subterráneas cada método posee un grado de complejidad dado por las condiciones de alto riesgo de la obra, como lo son derrumbes internos, que deben evitarse a través de la consolidación del suelo con algún método (*jet-grouting* por ejemplo) o mediante la ejecución de estructuras de contención para detener el empuje de tierra tales como: muros colados, pantallas atirantadas, pilotes; Por otra parte, están las variaciones del nivel freático que debe mantenerse por debajo de los límites de la excavación y que varía durante el período de lluvia, lo cual complica la estabilidad de las trincheras. Además de estas complicaciones típicas en obras subterráneas está la dificultad de llevar a la trinchera los equipos y maquinarias necesarios para la ejecución de la obra, creando una problemática que debe ser mejorada en los métodos.

Aunado a los problemas que surgen por el hecho de ser obras que deben ser ejecutadas por debajo de la superficie, existe también la dificultad de que estas Estaciones abarcan grandes espacios en áreas ya pobladas y que además por el desconocimiento de la futura llegada de la red de metro a estos lugares, no se tomaron las previsiones necesarias, quedando estos espacios intervenidos por una gran número de servicios públicos como son: acueductos, cloacas, drenajes, teléfono, luz eléctrica, gas y fibra óptica, que deben ser reubicados e inclusive por fundaciones de edificaciones cercanas a la futura estación, lo cual requiere de un estudio sobre cuál método resulta más conveniente ante la posibilidad de la menor intervención de estas variables.

Conjuntamente con estos problemas para la construcción de Estaciones, está la complicación de ser una obra subterránea, obras de este tipo no son ejecutadas en la cotidianidad, lo cual obliga a crear una metodología con una logística precisa. Estos métodos utilizados actualmente son técnicas de construcción no usuales, por lo tanto son en cierta medida y en muchos casos experimentales, y como todo proceso experimental surgen

complicaciones que deben ser analizadas para posteriormente mejorarse generando resultados que sean más favorables y por tanto más productivos.

Estas complicaciones causan retraso en la obra, que trae consigo innumerables consecuencias económicas que pueden generar pérdidas, sobrecostos ocasionados por gastos no previstos, atrasos en los cronogramas de ejecución y por tanto alargamiento de los plazos de entrega de la obra; todo esto genera incumplimiento con lo establecido en el contrato e insatisfacción del cliente.

Estos problemas se presentaron a lo largo de la ejecución y desarrollo de las obras de las Estaciones de las Líneas 3 y 4 del Metro de Caracas, por lo que debieron plantearse distintas soluciones obteniendo en algunos casos resultados satisfactorios y en otros no tanto, lo que promovió la aplicación de otras alternativas hasta obtener el resultado deseado; la recopilación de estas experiencias resulta necesaria y conveniente para su consulta en futuros eventos similares, ya que de esta forma se llega a la mejor solución de manera más directa, evitando retrasos.

I.2.- OBJETIVOS

I.2.1.- Objetivo General

Analizar las metodologías constructivas utilizadas en la construcción de las estaciones Parque Central-Línea 4 y Coche-Línea 3 del Metro de Caracas.

I.2.2.- Objetivos Específicos

1. Contrastar la estructura (elementos y relaciones) de los Métodos Trinchera Abierta e Invertido que se utilizan en la construcción de Estaciones subterráneas.
2. Contrastar Ventajas y desventajas de los métodos en estudio.
3. Describir como se utilizó el Método Trinchera Abierta para la construcción de la estación Parque Central de la Línea 4 del Metro de Caracas.
4. Describir como está siendo utilizado el Método Invertido en la construcción de la Estación Coche de la Línea 3 del Metro de Caracas.
5. Detectar fuentes de fallas en los métodos y su aplicación en la realidad estudiada.
6. Sintetizar con base en las experiencias en las Líneas 3 y 4 las soluciones o innovaciones aplicadas a imprevistos con resultados satisfactorios o desfavorables.

I.3.- APORTES

El continuo aumento de usuarios del Metro de Caracas y como consecuencia de esto la congestión de esta red subterránea, ha desarrollado la extensión de este transporte de uso masivo, el cual está siendo solventado con la construcción de nuevas líneas como lo son la ya inaugurada en el 2006 Línea 4 y la actualmente en construcción Línea 3. Se planea además la futura construcción de la Línea 5 que comprenderá las nuevas Estaciones: Bello Monte, Las Mercedes, Tamanaco Chuao, Bello Campo, ampliación de la Estación Parque del Este, Monte Cristo, Boleíta, Horizonte, y Urbina Norte. En total son 10 nuevas Estaciones de Metro subterráneas, con muchas de las características de las estaciones en estudio, y a las cuales podrán llevarse los resultados y recomendaciones encontradas a través de este análisis.

El contrastar la estructura de los métodos, determinará las ventajas y desventajas de ambos, y la posibilidad de estudiar posteriormente las desventajas permitirá proponer mejoras, lo cual es un aporte significativo para la empresa constructora ya que se prevendrían posibles problemas que causarían retrasos en la ejecución de la obra incumpliendo las fechas pautadas para sus entregas, afectando así el costo.

Por tratarse de métodos constructivos poco usuales en Venezuela, el material recopilará información valiosa que proporcionará al estudiante de Ingeniería Civil una herramienta de consulta, que servirá de base para introducirlo en los trabajos de obras subterráneas, permitiendo tener una visión más amplia en el tema.

Proporcionará a los profesionales que participan en la ejecución de estos trabajos, evaluar cuáles son los puntos críticos que pueden ser atacados para proporcionar mayor rendimiento y producción en obras donde se utilicen metodologías iguales o similares.

Servirá de base para la posibilidad de realizar investigaciones similares para las otras estaciones ya construidas o en construcción, en las cuales existe una gran cantidad de información que al igual que ésta servirá para aumentar la experiencia y disminuir los inconvenientes de estos métodos para la construcción de futuras estaciones en la extensión del Metro en la ciudad de Caracas y otras ciudades del país.

I.4.- ALCANCES Y LIMITACIONES

El Presente Trabajo Especial de Grado comprende el análisis detallado de la metodología constructiva Trinchera Abierta y el Método Invertido desde el punto de vista constructivo, se evaluarán las cantidades de concreto y acero además de la afectación al entorno, y se contrastarán los elementos estructurales que lo componen así como las actividades constructivas más relevantes.

El trabajo de campo se realizará en la estación de Coche de la Línea 3 (actualmente en construcción), y en base a las experiencias adquiridas en la construcción de la estación Parque Central de la Línea 4, ambas líneas pertenecientes al Metro de Caracas. Se sintetizarán las principales dificultades y soluciones halladas en el desarrollo de su construcción y se recopilarán las innovaciones en materia constructiva.

Posteriormente al análisis particular de las dos estaciones, se generaliza las metodologías para poder ser aplicadas a cualquier contexto, buscando determinar las ventajas y desventajas para ambas.

Las limitaciones para el presente trabajo estuvieron en la búsqueda de material bibliográfico que detallara ambas metodologías, y en particular del Método Invertido ya que es una propuesta constructiva reciente en Venezuela. Por otra parte la recopilación de la información sobre Parque Central estuvo limitada porque la obra ya había sido terminada y muchos de los ingenieros y técnicos que participaron en ésta, no se encontraban en los nuevos proyectos de extensión lo que complicó su ubicación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

II.1.- ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Entre los trabajos relacionados con el tema que se han desarrollado en diversas universidades están:

Triana, J (1.991) presentó un Trabajo Especial de Grado en la Universidad Central de Venezuela para optar al título de Ingeniero Civil titulado “Estudio comparativo de los métodos constructivos túnel y de trinchera para la construcción de estaciones de un sistema metro”, en el cual se hace un análisis del método constructivo túnel con respecto a los métodos convencionales de trinchera y se exponen los criterios más importantes desde el punto de vista de diseño y estructural para la selección del método túnel en la construcción de estaciones, de estructuras de línea y de las vías subterráneas del sistema metro.

Abenante, C (1.989) presentó otro Trabajo Especial de Grado en la Universidad Metropolitana para optar al título de Ingeniero Civil, esta investigación se titula “Análisis sobre el diseño de estructuras abovedadas en la línea 3 del Metro de Caracas”, en la cual se hace un análisis sobre el bóveda para la construcción de las estaciones de la Línea 3 tramo Plaza Venezuela – El Valle del Metro de Caracas, planteando que el sistema abovedado es más adecuado que la trinchera rectangular a través del estudio estructural y de diseño de ambos métodos.

Gutiérrez, G y Mora, M (2.002) presentaron otro Trabajo Especial de Grado en la Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada para optar al título de Ingenieros Civiles, este trabajo se titula “Estudio de los métodos constructivos a utilizar por la empresa Guella Sogene para la entrada de la estación Cedeño del Metro de Valencia”, en

el cual se realiza un estudio de los métodos constructivos de sostenimiento a utilizarse en la construcción de la entrada de la mencionada estación, comparando las pantallas atirantadas, los micropilotes, el concreto proyectado, las pantallas de pilotes y los muros colados, determinándose en su investigación que el uso de los muros colados es más conveniente.

González, R y Rodríguez, F (2.000) presentaron otro Trabajo Especial de Grado en la Universidad de Carabobo para optar al título de Ingenieros Civiles, el cual se titula “Estudio de impacto ambiental del Metro de Valencia en su fase constructiva tramo Plaza de Toros – Av. Cedeño”, en el que se realiza un estudio completo del impacto ambiental que produce la construcción del Metro de Valencia mostrando la clasificación de los impactos ambientales, factores de impacto y las maneras como actúa la construcción de una obra civil de un sistema metro en el medio ambiente.

II.2.- RESEÑA HISTÓRICA DEL METRO DE CARACAS

En 1.968 se comenzó a elaborar el proyecto del Metro de Caracas, seleccionándose para ello al consorcio internacional formado por las empresas Parsons, Brinckerhoff, Quade & Douglas de Nueva York y Alan M. Voorhees de Washington y en Julio de ese mismo año se somete a consideración del Congreso Nacional el proyecto de ley que autorizaría las operaciones de crédito público para financiar la construcción de la Línea 1 (Catia - Petare).

En Diciembre de 1.968 se dictó el decreto de expropiaciones de los inmuebles afectados por la construcción del tramo Catia – El Silencio. Las actividades de proyecto abarcaron todo 1.969 y los primeros seis meses de 1.970. Durante 1.972 y 1.973 se avanzó en el anteproyecto de la primera línea, abriéndose a finales de 1.973, la licitación internacional para las obras civiles de la estación Agua Salud. En 1.975, el Ejecutivo considera suficientemente analizado el proyecto de la primera línea del metro y decide solicitar al Congreso Nacional la aprobación de la ley de financiamiento correspondiente; en ese mismo año se hace el llamado a licitación de las obras civiles La Hoyada – Chacaíto.

La Oficina de Proyectos y Obras del Metro de Caracas inició sus actividades en 1.976 con la apertura de la licitación pública internacional de los equipos para la línea Propatria – Palo Verde. En Agosto de ese año, el Congreso aprobó la Ley de Inversiones en Sectores Básicos de la Producción, en el cual se incluyó la previsión de los fondos para la construcción del metro durante un período de cinco (5) años. En Abril de 1.977, la Oficina de Proyectos y Obras del Metro de Caracas pasa a depender del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, y cuatro (4) meses más tarde, el 8 de Agosto, se funda la Compañía Anónima Metro de Caracas. En Octubre, el Ejecutivo Nacional decide dar prioridad a la Línea 2 desde Caricuao hasta El Silencio, iniciándose los estudios, proyectos y construcción.

Durante ese año se concluye el proyecto del tramo La Hoyada – Chacaíto y se inicia el correspondiente al tramo Chacaíto – Los Dos Caminos. Los trabajos de construcción, suministros, instalaciones y pruebas de los equipos progresaron con toda normalidad, permitiendo la puesta en operación el 2 Enero de 1.983 de la primera etapa de la Línea 1 desde Propatria hasta La Hoyada y en marzo de ese mismo año el tramo La Hoyada – Chacaíto.

Para 1.985 se inició la construcción paralela de los tramos Chacaíto – Los Dos Caminos de la Línea 1 y La Paz – El Silencio de la Línea 2. Se crea la Gerencia Ejecutiva de Transporte Superficial con la función principal de asegurar la prestación del transporte público superficial en forma segura, eficiente y comfortable mediante la planificación, organización, dirección y control de la operación del sistema denominado Metrobús. El 4 de Octubre de 1.987 comenzó a funcionar la primera etapa de la Línea 2, Las Adjuntas – Zoológico – La Paz, así como también ese mismo mes entró en servicio el sistema Metrobús el cual permitió conectar a los usuarios provenientes de Caricuao con El Silencio de la Línea 1.

En Abril de 1.988 entra en servicio el tramo Chacaíto –Los Dos Caminos y en Noviembre de ese año el tramo La Paz – El Silencio. Durante los años siguientes, el metro continuó su expansión hasta finalizar la Línea 1 con el tramo Los Dos Caminos – Palo Verde, el cual se inauguró el 19 de Noviembre de 1.989. El avance no se detuvo y la C.A. Metro de Caracas comenzó a enrumbarse hacia la parte sur de la ciudad hasta que el 18 de Diciembre de 1.994 puso en funcionamiento el tramo Plaza Venezuela – El Valle correspondiente a la Línea 3 y para el 2006 se inauguró la Línea 4 que va desde la estación Capuchinos de la Línea 2 hasta Plaza Venezuela, actualmente se encuentra en construcción la prolongación de la Línea 3 desde El Valle hasta La Rinconada.

II.3.- DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO LÍNEA 4

El trazado de la Línea 4 tiene una longitud de proyecto de 5,65 Km aproximadamente, y se extiende a lo largo de las Av. San Martín y Lecuna, entre la Plaza Italia, Los Teatros (Nacional y Municipal), el antiguo Nuevo Circo, el Conjunto Residencial Parque Central, el Parque Los Caobos y siguiendo la ruta del Paseo Colón hasta llegar a la nueva Estación de la Zona Rental, ubicada en la Plaza Venezuela.

En general, la Línea 4 del Metro de Caracas está conformada por la ampliación de una Estación existente (Capuchinos), cuatro estaciones nuevas (Teatros, Nuevo Circo, Parque Central y Zona Rental) construidas con el Método tradicional, una Subestación de Tracción en Los Caobos, un tramo de Túnel Minero NATM (*New Austrian Tunnelling Method*) entre Plaza Italia y Capuchinos, y un tramo de Túnel Escudo Tipo EPB's (*Earth Pressure Balance Shield*) para los túneles gemelos comprendidos en entre Capuchinos y Plaza Venezuela.

II.4.- DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO LÍNEA 3

El Tramo El Valle – La Rinconada, con una longitud de 5.972 m, se inicia en el extremo de la trinchera sur de la estación El Valle (existente), continuando en toda su extensión a lo largo de la Av. Intercomunal El Valle hasta su final, sector en el que se construirán las tres estaciones intermedias denominadas Los Jardines, Coche y Mercado, luego toma rumbo al Oeste para internarse en terrenos del Instituto Nacional de Hipódromos, donde se localiza la estación terminal provisional La Rinconada, que servirá de interconexión con la estación terminal Caracas del Proyecto Ferroviario Caracas – Charallave. Adicionalmente, contempla las subestaciones de alimentación eléctrica en el sector Las Malvinas de la Parroquia El Valle y la de tracción eléctrica Mercado. (ver figura II.4.1).

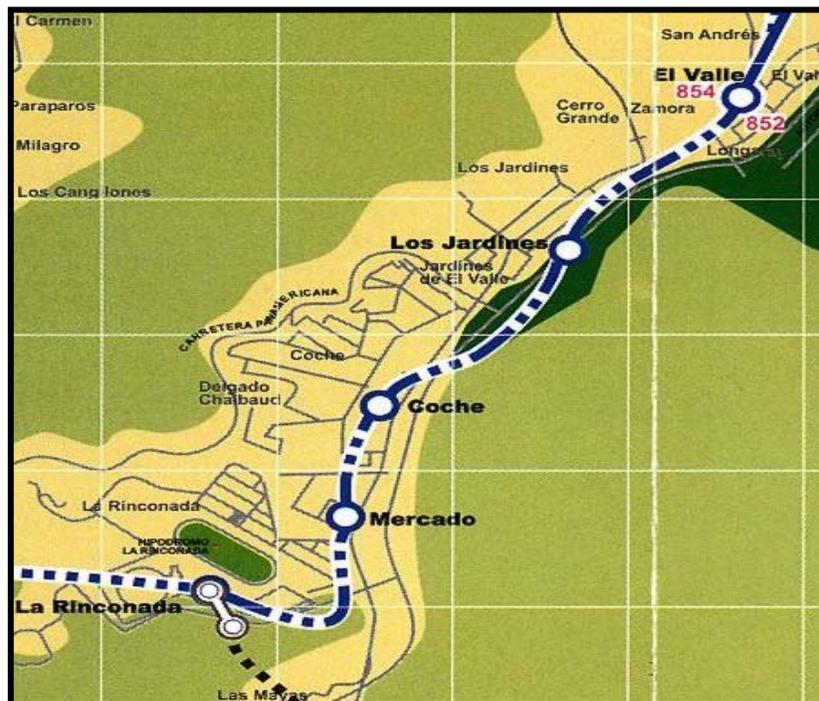


Figura II.4.1 – Alineamiento Línea 3

Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht -2006.

De acuerdo a la geología de la zona se han previsto tres métodos constructivos:

- Trincheras de las cuales 655 m corresponden a las estaciones descritas y 760 m a las estructuras de línea para una longitud total de 1.415 m.
- Túneles gemelos aplicados en toda la longitud de la línea. La excavación es efectuada con equipos TBM (escudo). Longitud total para ambas vías 8.262 m.
- Túnel tipo minero de longitud 426 m. construido a continuación de la trinchera para la cola de maniobra posterior a la estación La Rinconada.

II.5.- SISTEMA DE METRO LIGERO

El metro ligero es básicamente un sistema de transporte urbano ferroviario integrado por trenes de tracción eléctrica y ruedas de acero los cuales se desplazan sobre vías férreas, es decir, dos rieles paralelos de acero, a una velocidad promedio entre 40 y 45 Km/h. Este ferrocarril se desplaza a todo lo largo y ancho de una ciudad mediante vías subterráneas, vías superficiales o vías elevadas, ofreciendo un servicio rápido, eficiente, seguro y económico. Las características operacionales de este sistema permiten atender demandas que van actualmente en el orden de treinta mil (30.000) pasajeros por hora por sentido, con intervalos máximos de cinco (5) minutos entre la llegada de un tren y otro a una estación.

II.6.- ESTRUCTURA FÍSICA DE UN SISTEMA DE METRO

Un sistema metro está compuesto por las siguientes instalaciones físicas:

Estaciones: Son el punto de enlace de una vía subterránea con las áreas circundantes y otros medios de transporte superficial, las cuales deben interferir lo menos posible con el sistema vial. En las estaciones se llevan a cabo diversas funciones como lo son el embarque y desembarque de usuarios, la venta de boletos, control de recaudación e información sobre la red del sistema (mapas, líneas, horarios, etc.). Además pueden tener instalaciones de servicios públicos tales como bancos, tiendas y teléfonos. Las dimensiones de las estaciones dependen de las características operacionales del proyecto las cuales son: El tamaño de los trenes, intervalo de operación, volumen de pasajeros, periodo de vida útil, entre otros. Las estaciones se clasifican en:

Por su ubicación en la línea

- **Terminal:** Es la estación de donde parten o llegan los trenes que sirven a una línea. Pueden ser provisionales si es una estación que siendo intermedia funciona temporalmente como Terminal, para lo cual tendrá las facilidades requeridas por una estación Terminal, o definitiva que es la ubicada en los extremos de una línea.

- **Intermedia:** Es la estación ubicada entre dos (2) estaciones terminales. Pueden ser de primer orden si el volumen de usuarios es superior al promedio, de segundo orden si el volumen de usuarios corresponde al promedio arrojado por los análisis y de transferencia si permite el trasbordo de los pasajeros de una línea a otra o entre ramales de una misma línea.

Por su característica de emplazamiento

- **Elevada:** Es una estación cuyo tipo de andén está ubicado por encima del nivel de los accesos a la misma.

- **A nivel:** Es una estación cuyo andén está ubicado al mismo nivel de los accesos.
- **Subterránea:** Es una estación cuyo andén está ubicado por debajo del nivel de los accesos.

Por el tipo de andén

- **Andén lateral:** Implica dos andenes separados uno a cada lado de un par de vías férreas adyacentes, cada andén sirve solo a trenes en una misma dirección en condiciones normales de operación. La conexión entre los andenes se produce a desnivel.
- **Andén central:** Está ubicado entre las dos (2) vías férreas, sirviendo a los trenes de ambas direcciones.

Entre los componentes de las estaciones están:

Accesos: Son usados regularmente para entrar o salir de la estación, pueden ubicarse a nivel de la calle, de la mezzanina o del andén dependiendo de la conformación de la estación. Incluye puertas, ascensores, rampas, pasillos según se requiera.

Mezzanina: Nivel intermedio de la estación en el cual, por lo general está contenido el vestíbulo y sirve de transición entre los accesos y los elementos de circulación que comunican los andenes.

Andenes: Área de la estación ubicada adyacentemente a la posición de los trenes detenidos, donde los usuarios entran y salen de los vagones del tren.

Túneles: Es un paso subterráneo abierto artificialmente con explosivos o con una máquina denominada topa, que establece la comunicación de una estación con otra permitiendo el recorrido de los trenes de manera subterránea. El túnel es considerado un elemento primordial dentro del sistema metro, ya que, representa la mejor alternativa para dotar a dicho sistema de un derecho de vía propio e independiente del sistema superficial.

Patios y talleres: Son garajes o depósitos que permiten el estacionamiento de los trenes y garantizan el mantenimiento y la reparación de estos, además sirven de base para el mantenimiento y electrificación de las vías férreas. Estos deben estar ubicados en un lugar central de la red y su terreno debe ser plano y rectangular dentro de la medida posible.

Equipo rodante: También se le denomina material rodante y está formado por cada uno de los vagones que conforman el tren constituyendo el elemento básico de transporte de pasajeros. Al igual que las estaciones los vagones son el punto de contacto del público con el sistema metro, del servicio y confort que ambos presten dependerá la aceptación del metro por parte de los usuarios.

II.7.- PROCESO CONSTRUCTIVO DE LAS ESTACIONES Y TRINCHERAS DE UN SISTEMA METRO

II.7.1 Obras de preconstrucción

Son aquellas obras que se realizan previamente antes de comenzar con la construcción de la estructura propiamente dicha y tienen como objetivo despejar el derecho de vía del sistema a construir y dejar el área en condiciones adecuadas para las diversas actividades de la contratista, entre estas obras están:

a) **Estudios de suelos:** Se debe realizar un estudio de suelos del área donde se ubicará la estructura el cual arroje un perfil litográfico que permita identificar las características del suelo existente con lo cual se determinará el tipo de estructura de sostenimiento a utilizar, además de indicar la cota en la que se encuentra el nivel freático lo cual es un parámetro muy importante a la hora de construir esta clase de obras civiles.

b) **Instrumentación:** Consiste en la colocación de piezómetros para chequear la cota del nivel freático del suelo y de tazómetros para detectar posibles asentamientos en estructuras cercanas como edificios, puentes, viaductos, etc. Esta instrumentación se realiza en el área donde se ubicará la estación o la trinchera, en el alineamiento de los túneles y en las áreas y estructuras adyacentes. En el caso de que se requiera combatir el nivel freático se utilizan pozos de abatimiento que son perforaciones hechas hasta el nivel donde se necesita desalojar el agua mediante bombas, pero hay que tener mucho cuidado con el arrastre de finos, ya que se pueden producir socavaciones de gran magnitud.

Por otra parte los asentamientos se previenen usando la contracementación o refuerzo de las fundaciones, con este procedimiento se protegen las estructuras de los efectos de las excavaciones cercanas construyendo vigas y soportes nuevos o en muchos casos se hace necesario además hincar pilotes diseñados para soportar la carga propia de la estructura y los efectos de la excavación vecina. De producirse a futuro asentamientos inesperados en una estructura el tratamiento es diferente, ya que se debe consolidar el suelo con lechadas de concreto u otro material que rellene los espacios producidos por la socavación y se evalúan los daños registrados en la estructura para su posterior reparación.

c) **Desvíos de tránsito:** Los desvíos de tránsito se realizan con la finalidad de evitar en la medida posible molestias de los vehículos y peatones con las áreas intervenidas y afectadas. Estos desvíos exigen un estudio previo de la zona para seleccionar la mejor alternativa que garantice la mayor armonía entre la obra y el tránsito peatonal y vehicular,

obteniéndose de esta manera un máximo de seguridad. Para una buena eficiencia se anuncia con anticipación por los medios de comunicación las nuevas rutas implementadas además de colocar señalizaciones y fiscales de tránsito que las hagan cumplir.

d) Expropiación, reubicación y demolición de inmuebles: La expropiación es la actividad que comprende el catastro y avalúo de los inmuebles afectados y las estimaciones de daños a los mismos incluyendo a la población que ahí se encuentra. Estos inmuebles son reubicados en otras zonas o se le paga al dueño del inmueble el valor que arroje el avalúo del mismo. Luego que los inmuebles afectados son adquiridos por la empresa contratista se procede a su demolición haciendo uso de maquinaria pesada como tractores, grúas y martillos metálicos, herramientas manuales como picos, palas y mandarrías, y explosivos aunque su uso es muy poco, ya que, se trata de zonas urbanas.

e) Reubicación de servicios públicos: Las reubicaciones se realizan con la finalidad de no interrumpir el servicio público hacia las zonas vecinas que no estén siendo afectadas por el sistema metro a construirse, aunque también existe la posibilidad de mantener algún o algunos servicios en su sitio original siempre y cuando, sus características y las del proyecto lo permitan. Cabe destacar que el levantamiento de servicios públicos que se ven perjudicados por la construcción se realiza mediante planos otorgados por las empresas dueñas de dichos servicios (teléfono, acueductos, cloacas, electricidad, gas, cable, etc.), mediante la ejecución de calcatas o por medio de otro método de localización.

Contando con esta información se procede a realizar los proyectos de reubicación de servicios para su ejecución, ya sea de manera provisional o definitiva, lo cual se debe hacer antes de comenzar con la construcción de la obra para mayor seguridad y comodidad, pero a veces por no contar con la información más precisa y actualizada de la ubicación de los servicios se pueden hacer reubicaciones sobre la marcha.

f) **Preparación del área del contratista y de construcción:** Se ejecuta un levantamiento topográfico y se replantea el área de la trinchera o de la estación (área de construcción) para determinar su perímetro y su ubicación exacta mediante puntos o coordenadas, además de delimitar el área total a utilizar por la empresa contratista para la ejecución de la obra incluyendo la construcción de las obras provisionales necesarias tales como oficinas, talleres, depósitos, vestuarios y baños. También se realiza la tala y deforestación de los árboles afectados, se retiran y desechan todos los escombros presentes en el lugar y se cierra todo el terreno a utilizarse para la obra con cercas o con láminas livianas.

II.7.2 Construcción del sistema de contención

Cuando un terreno no se sostiene por si solo con el talud que económicamente se le puede dar, es preciso construir una estructura que aplique sobre el terreno las fuerzas necesarias para mantener el equilibrio, a estas estructuras se les denomina sistema de contención. Como consecuencia, el terreno aplicará sobre la estructura unos empujes iguales y contrarios a estas fuerzas. En otros casos se trata de reducir las deformaciones del terreno.

Entre estas estructuras de contención están las pantallas de pilotes, los micropilotes, el concreto proyectado, las pantallas atirantadas y los muros colados. El más utilizado, ya que se adapta mejor a esta clase de obras y a la gran mayoría de los tipos de suelos existentes es el muro colado del cual se hará una descripción detallada más adelante. La selección del tipo de estructura de contención será realizada en base a las propiedades mecánicas del suelo y consideraciones de carácter económico. Según las Normas de Proyecto de la C.A. Metro de Caracas los muros se clasifican en:

- Estructuras flexibles tales como los muros de contención esbeltos, que permiten un movimiento suficiente para que se desarrolle el estado activo del suelo y se deforman bajo la acción de los empujes del suelo.
- Estructuras rígidas tales como muros en voladizo no esbeltos, muros con contrafuertes o de gravedad fundados en roca o pilotes, etc., los cuales no cambian de forma bajo la acción de los empujes del suelo.

Los muros se ejecutan al aire en la mayoría de los casos y pueden ser:

- Muros de sostenimiento cuando se construyen separados del terreno natural y luego se rellenan de tierra.
- Muros de revestimiento cuando su misión es esencialmente proteger el terreno de la erosión y de la meteorización.
- Muros de contención cuando se construyen para aguantar tierras que se caerían en un plazo más o menos largo si se dejasen sin apoyo.

II.7.2.1 El muro colado como sistema de contención

Los muros colados son pantallas de concreto (armadas o no) ejecutados sin ningún tipo de encofrado, es decir, en contacto con la superficie del terreno en todas sus caras. El espesor de estos muros generalmente está comprendido entre 0,60 m y 1,50 m, su largo varía entre 2 m y 7 m, y su profundidad puede ser limitada solo por medios técnicos y de proceso constructivo, pues han llegado a conocerse muros colados que llegan a profundidades del orden de 40 m, tomando en cuenta que esta dimensión debe ser mayor que la profundidad a la cual estará la estructura delimitada por ellos con la finalidad de lograr un adecuado empotramiento. Dichos muros son excavados y vaciados al seco o en lodo bentonítico y pueden construirse sobre cualquier poligonal deseada y desde el nivel

que más convenga. Para lograr un mayor sostenimiento del terreno y brindarle un mayor soporte a los muros durante el proceso de excavación de la trinchera o estación pueden ser apuntalados con perfiles de acero o anclados con tirantes. El proceso de ejecución de un muro colado es el siguiente:

1. Ejecución de dos muretes-guía que sirven para limitar el perímetro de la pantalla.
2. Excavación del panel, se usan lodos si se requiere. La longitud de cada panel oscila entre 2,30 y 7,00 m., de acuerdo a la mordida de la cuchara, aunque son más usuales los de 2,50 m.

La excavación del muro se hace con una almeja al seco o en lodo bentonítico dependiendo del tipo de suelo presente, de ser un suelo suelto y sin cohesión se requiere el uso de la bentonita. Se debe tener un gran cuidado cuando se ejecuta la excavación cerca de edificaciones vecinas, sobre todo en puntos importantes de transmisión de carga como pilotes y zapatas para evitar futuros asentamientos en dichas estructuras.

3. Colocación de juntas en los extremos del panel.
4. Ubicación de la armadura, la misma quedará colgada, nunca apoyada en el fondo.
5. Se vaciará el panel de abajo hacia arriba, mediante el uso de tubería *tremie*.
6. Se extraen las juntas después de haber endurecido el hormigón.
7. Repetir el proceso hasta cerrar el perímetro.
8. Construcción de la viga riostra perimetral en caso de ser necesario.

II.7.2.2 Aspectos Técnicos de las Pantallas

Cuando se ejecuta una pantalla deben considerarse ciertos aspectos técnicos que podrían acarrear problemas:

- **Tratamiento de Lodos:**

Si la excavación se va a ser en lodo bentonítico este debe ser preparado previamente mezclando en una máquina especializada para ello arcilla bentonítica y agua, lo cual produce una solución viscosa que evita el derrumbe de las paredes de la excavación, dándole estabilidad a las mismas mientras se ejecuta el muro colado.

Entre las propiedades del lodo bentonítico están: La viscosidad la cual se verifica con un Embudo de Marsh y se cronometra el tiempo de escurrimiento de 1000 cm³, sus parámetros normales son de 30 a 45 s, el contenido de arena se mide con un elutriómetro, instrumento en el cual se vierte un volumen específico de lodo bentonítico, se deja decantar por unos segundos y se verifica en la escala graduada que tiene en sus paredes de vidrio el porcentaje de arena presente en la solución, el cual por norma debe ser menor al 2% para poder ser vaciado el concreto en el muro, la densidad se mide con una balanza tipo Baroid la cual debe estar entre 1,034 g/cm³ y 1,210 g/cm³, y el ph es una propiedad que mide la alcalinidad o acidez del lodo bentonítico, es chequeado mediante una cinta de colores para medir ph y debe estar entre 8,50 y 10,50.

- **Muretes –Guía:**

Es conveniente darle dimensiones que no sean menores a 50 cm, ya que no solamente sirven de guía a la cuchara sino que también protegen la parte superior de la excavación donde la situación es más precaria.

- **Armaduras:**

Las pantallas por lo general trabajan a la flexión, por ello la cuantía de la armadura es importante. Es muy importante comprobar el cálculo de la pantalla para garantizar su dimensionamiento correcto.

Se fabrican las armaduras de refuerzo o jaulas de acero del muro colado según las especificaciones dadas por el ingeniero calculista, y se debe tomar en cuenta dejar la

separación adecuada entre los estribos para facilitar el paso de la tubería de vaciado. También se debe tener presente que si la armadura tiene una longitud mayor a 12 m se fabrican tantas partes como sean necesarias hasta cubrir el largo total de la misma, esto se debe a que en el mercado solo se cuentan con cabillas que miden máximo 12 m de longitud, al momento de introducir las jaulas en la excavación se solapan con soldadura cada una de las partes.

- **Concreto:**

Se vacía el concreto por medio de la tubería el cual debe ser premezclado para garantizar el asentamiento y la resistencia de diseño, parámetros cuyos valores estándar son 8” para el asentamiento y mayor a 300 Kg/cm² para la resistencia a la compresión. Se debe colocar un número de tuberías suficiente para obtiene de esta manera un vaciado uniforme a lo largo de todo el muro y además hay que desarenar correctamente la bentonita para eliminar porcentajes altos de arena que contaminen el concreto. El concreto llega al fondo de la excavación y a medida que su volumen aumenta va desplazando a la bentonita la cual es evacuada con bombas sumergidas mandadas a un tanque para su reciclaje.

Es muy importante que a medida que va aumentando el nivel de concreto en el panel se debe ir retirando la tubería para evitar que se pegue con el endurecimiento del concreto. Para un correcto control de vaciado es indispensable que el nivel de vaciado sea controlado desde arriba por medio de sondas, de esta forma se puede comparar el volumen teórico de concreto con el práctico para determinar oportunamente si se han producido derrumbes en la excavación. Una vez que se ha llegado hasta la cota máxima de vaciado del panel se culmina su ejecución.

- **Sobre-excavaciones:**

La sobre-excavación pueden estar entre el 5 y el 20%. Debe comprobarse la calidad de los lodos a fin de mejorar la estabilidad de los paneles y disminuir estos sobreanchos. Si se emplea trépano, se pueden generar sobre-ancho mayor aún.

- **Juntas:**

Las juntas sirven para dar continuidad, verticalidad entre paneles y también impermeabilidad. Pueden emplearse dos tipos diferentes de juntas:

1. Juntas circulares: son tubos cilíndricos del mismo diámetro que el espesor de la pantalla.
- 2.- Juntas semicirculares que permiten la excavación por su parte lisa.
3. Juntas trapezoidales: están formadas por elementos metálicos rectos que forman un prisma recto con base trapezoidal.

Las juntas mas usadas son las trapezoidales, utilizadas por lo general en pantallas profundas ya que son de más fácil extracción y posibilitan disponer juntas *water-stop* , logrando mejor control en la verticalidad de paneles.

- **Control de Verticalidad:**

La gran ventaja de los muros colados es de ofrecer la posibilidad de realización de las excavaciones por debajo del nivel freático, ya que sus características estructurales proporcionan una alta estanquidad lo que reduce significativamente la infiltración de agua subterránea durante el proceso de excavación y por otra parte en caso de ser necesario pueden ser incorporados en la estructura definitiva como muros autoportantes o estructurales, en los cuales se requiere más exigencia en su diseño ameritando mayores dimensiones en cuanto a su largo y su espesor y mayor cantidad de acero de refuerzo.

II.7.2.3 Jet Grouting

El *jet-grouting* es un proceso que consiste en la desagregación del suelo (o roca poco compacta), mezclándolo, y parcialmente sustituyéndolo, por un agente cementante

(normalmente cemento). La desagregación se consigue mediante un fluido con alta energía, que puede incluir el propio agente cementante. Se muestran los siguientes sistemas.

- Sistema de fluido único: Cuando la desagregación y cementación del suelo se consigue con un chorro de un único fluido a alta presión que, en general, es una lechada de cemento.
- Sistema de doble fluido (aire): Cuando la desagregación y cementación del suelo se realiza por un fluido, normalmente lechada de cemento, asistido por un chorro de aire a presión que actúa como segundo fluido.
- Sistema de doble fluido (agua): Cuando la desagregación del suelo se obtiene por un chorro de agua a alta presión, utilizando como segundo fluido una lechada para conseguir la cementación del suelo.
- Sistema de triple fluido: Con este sistema la desagregación del suelo se consigue por un chorro de agua a alta presión, asistido por un chorro de aire a presión, utilizando como tercer fluido una lechada para conseguir la cementación del suelo.

II.8.- ANCLAJES

Los anclajes determinan un sistema constructivo que ofrece soporte y firme sujeción a cimentaciones profundas que superan los 30 metros.

Los anclajes son un sistema constructivo para Cimentaciones Profundas que trabajan como soporte y sujeción; con esta técnica se puede alcanzar hasta una profundidad del orden de los 30 metros con solo una clava de muro de 3 m.

II.8.1.-Ventajas

Los anclajes ofrecen muchas ventajas, entre las cuales podemos nombrar:

Un muro sostenido por una hilera de anclajes permite una clava menor respecto del que trabaja como autoportante. La clava mínima con dos o más hileras de anclaje se encuentra entre 1,5 y 2 m., economizando metros de excavación. De este modo se reducen los costes de excavación, de materiales y de tiempo insumido.

- El anclaje hace que varíe la distribución de esfuerzos en el muro, que pasa de trabajar a modo de ménsula a una viga continua. De esta manera disminuyen los esfuerzos, y ello permite adelgazar el espesor y el armado del muro.
- Este sistema ofrece mayor seguridad en edificaciones contiguas pues elimina los movimientos habituales en muros de contención.
- Mediante los anclajes se logra racionalizar y acortar los tiempos de construcción, ya que la excavación queda totalmente limpia.
- Gran ventaja por la velocidad en la ejecución sobre todo en terrenos blandos, donde se alcanza hasta diez anclajes al día, con mayores rendimientos y menos jornadas de trabajo.

Tipos de Anclajes:

- Anclajes Temporales: Ciertos anclajes se utilizan en forma temporal, por ejemplo para el sostenimiento de un muro pantalla; cuando han finalizado los trabajos del mismo, el anclaje queda fuera de servicio, y aunque la corrosión afecte sus paredes metálicas, esto carece de importancia porque su función ha sido cumplida.
- Anclajes Permanentes: Los anclajes permanentes cumplen la función de sujetar un muro de manera definitiva; tal es el caso de los muros de contención en carreteras, donde los anclajes son barras de acero con tratamiento anticorrosivo para evitar su deterioro.

II.9.- NIVEL FREÁTICO

En las cimentaciones profundas, uno de los problemas con que nos encontramos durante el proceso de excavación, es la existencia del nivel freático.

La presencia de agua, en relación a los esfuerzos, produce una disminución de las propiedades y las características resistentes en suelos saturados y también provoca una presión adicional sobre el frente de la excavación.

Además, frente a los movimientos producidos por oscilaciones en los niveles freáticos y por posibles arrastres. Esto nos lleva a realizar un estudio hidrológico que contemple el modo de efectuar su extracción. Para ello tendremos que especificar en cada caso el tipo y número de bombas, los caudales máximos, etc.

Para realizar los trabajos de excavación siempre se simplifica al contar con una pantalla perimetral continua en el predio, empotrada en un sustrato impermeable o reduciendo el gradiente hidráulico. Ya creado el recinto perimetral, se procede a extraer el agua mediante Pozos de Bombeo o Well-Point.

II.9.1.-Rebajamiento del Nivel Freático

Para realizar el rebajamiento de nivel freático en el terreno, existen dos formas de extracción del agua:

II.9.2.-Pozos de Bombeo

Se utilizan para terrenos medianamente permeables, en el orden de 10^{-3} a 10^{-4} cm/sg. Es un sistema de extracción de agua mediante aspiración forzada. Se ejecutan una serie de perforaciones y se introduce en ellas unos tubos-dren, rellenando el hueco entre el tubo y la perforación con un material drenante que impida el arrastre de finos, de lo contrario las tuberías acabarían obturándose y el sistema no sería operativo. Adentro de cada tubo-dren se introduce una tubería de aspiración, que en la superficie está unida a

otros y se conectan a la bomba de aspiración. De este modo, el agua llega a los pozos perforados por gravedad y se extrae el agua de allí por aspiración con bomba.

II.9.3.-Well-Point

Este método se utiliza para medios con baja permeabilidad donde el agua no llegaría por gravedad a los pozos. Esta alternativa consiste en la introducción de una serie de puntas filtrantes, recogidas a nivel de la superficie en una tubería colectora la cual se conecta a una bomba de aspiración que produce el achique. Así se puede rebajar la cota de agua en aproximadamente unos 7 cm.

II.10.-VITRO RESINA

El perfil tipo Y hueco es el más avanzado y reciente descubrimiento de SIREG y ofrece una serie de ventajas sobre los otros perfiles. Los siguientes son los más relevantes:

- **Alta resistencia a la tensión:** capaz de soportar altas cargas.
- **Resistencia a la corrosión:** resiste la corrosión bajo condiciones normales del medio ambiente lo cual no es el caso de las uniones metálicas, son consideradas para ser colocadas en instalaciones temporales y bajo circunstancias de largos periodos, cambiando la resina.
- **Cortabilidad:** grandes daños y desgaste a la maquinaria de excavación y equipos son evitados cuando los anclajes de durglass son utilizados para la estabilización de tierras en túneles.
- **Bajo peso:** el peso aproximado es un cuarto del peso del acero ofreciendo reducción de costos de transporte y un fácil manejo en el sitio de trabajo.

- **Capa superficial de arena de cuarzo:** las barras de durglass están recubiertas con arena de cuarzo lo cual incrementa las fuerzas de fricción con las rocas y grutas que lo rodean.
- **Alta flexibilidad:** permite la instalación de largas barras de fibra de vidrio aun en túneles o minas con espacios reducidos.

II.11.-RESTITUCIÓN DE SUPERFICIE

Condiciones generales para la reubicación de servicios públicos: Según El Instructivo de Diseño de la C.A. Metro de Caracas todo servicio público existente cuya falla puede originar daños al sistema metro deberá ser reubicado adecuadamente, a fin de impedir que ello ocurra durante la etapa de construcción y/o de operación. Se procurará que en lo posible las reubicaciones proyectadas sean de carácter definitivo, utilizando reubicaciones provisionales a juicio del proyectista, únicamente cuando se demuestre que estas sean la opción más favorable técnica o económicamente.

Serán reubicadas todas aquellas instalaciones que a juicio del proyectista puedan interferir o verse afectadas durante la ejecución de las obras del metro o por la operación del mismo. Los servicios públicos afectados que han de ser reubicados antes de la ejecución de las obras del metro deberán ser definitivos, a fin de evitar posteriores desvíos en la etapa de postconstrucción. De no ser posible, se ubicarán provisionalmente dentro de la franja de derecho de vía prevista, para así minimizar el área de expropiación de inmuebles. En caso de no poder cumplir con esta condición por la insuficiencia del ancho de franja, la servidumbre adicional requerida debe estar reflejada en los planos de derecho de vía.

En ningún caso la distancia entre el TDR (cota de tope de riel) y el lomo de una tubería ubicada por debajo del sistema metro, deberá ser menor que 1,50 m. Cuando esta

condición no pueda ser satisfecha, el proyectista deberá incluir las protecciones y apoyos adecuados para garantizar la seguridad de la infraestructura y demás componentes del sistema metro. En todo caso, la solución propuesta deberá ser aprobada por el organismo competente y por la C.A.Metro de Caracas.

Acueductos: En general las instalaciones pertenecientes al acueducto serán soportadas o mantenidas en sitio y solo se reubicarán aquellas que, a juicio del proyectista puedan interferir o verse afectadas por las obras provisionales o permanentes de la C.A. Metro de Caracas. En lo posible se evitarán proyectar cruces de tubería con la vía, cuando estos fueren necesarios, se procurará que sean perpendiculares al alineamiento de la misma. Además, se evitará el paso de tuberías por debajo de la vía. En aquellos casos en los cuales la condición anterior no pueda ser satisfecha, la tubería deberá ser protegida adecuadamente a criterio del proyectista, para garantizar la seguridad del sistema metro, todo ello, deberá ser aprobado por la C.A. Metro de Caracas e HIDROCAPITAL.

Se colocarán hidrantes públicos de Ø 6", o se reubicarán los existentes en las proximidades a las conexiones siamesas que alimentan el sistema de protección contra incendios del sistema metro, a fin de garantizar el suministro adecuado. En el caso en el cual las tuberías superficiales sean provisionales o definitivas, se proyectarán los soportes y anclajes de acuerdo al tipo de material de la tubería y a las condiciones de trabajo de la misma. Las tuberías estarán revestidas exteriormente con el material apropiado a las condiciones del entorno y de acuerdo a lo indicado en las Normas Nacionales vigentes.

Los materiales, tuberías y accesorios a utilizar en las reubicaciones y/o construcciones nuevas serán adecuados a las condiciones de servicio a las cuales estarán sujetas respetando la normativa nacional vigente. Para todos los casos de reubicaciones y/o colocaciones de tuberías metálicas de acueductos, el proyectista analizará el tipo de corrosión al cual estarán sometidas las tuberías, debiendo diseñar y someter a la

consideración y aprobación de HIDROCAPITAL y la C.A. Metro de Caracas, el sistema de protección adecuado que ha de ser implantado, a fin de garantizar que no se produzcan daños a las tuberías por tal concepto. El proyectista deberá tener presente las corrientes parásitas que genera el sistema y diseñará el sistema de protección catódica a utilizar en tuberías de Ø 4” o mayores. En todo caso las tuberías deberán ser revestidas interior y exteriormente según su diámetro.

Cloacas: Esta parte contempla los colectores, tuberías y demás obras destinadas a la recolección y conducción de aguas servidas, aguas de lluvia y/o ambas pertenecientes al sistema de alcantarillado público de HIDROCAPITAL. El proyecto de reubicación y/o construcción de nuevas instalaciones deberá garantizar la continuidad del escurrimiento de las aguas servidas y/o pluviales, así como la seguridad de todas las instalaciones del sistema Metro y de las propiedades vecinas.

En el caso de las obras del sistema metro ejecutadas mediante excavaciones a cielo abierto como trincheras, estaciones, cajones y/o estructuras de ventilación, el flujo de los colectores afectados será desviado hacia colectores existentes no afectados capaces de recibir el gasto adicional, o a colectores nuevos proyectados para tal fin. En el caso de no disponer de información necesaria para calcular el gasto de diseño, puede asumirse como tal la capacidad del colector aguas abajo del punto en el cual comienza la reubicación. En todos casos se deberá verificar que la capacidad del receptor sea suficiente para conducirle el flujo propio y el adicional debido a la reubicación para garantizar la seguridad de las instalaciones del sistema metro. En ningún caso se desviarán aguas servidas hacia colectores abiertos o hacia colectores de aguas de lluvia menos que sean mixtos.

En lo posible se deberá evitar el soporte de los colectores sobre excavaciones en trincheras, sin embargo, cuando la reubicación de un colector así lo amerite, se deberá proyectar el soporte adecuado y el refuerzo de dicho colector, de acuerdo al material,

dimensiones del mismo y a las condiciones de trabajo bajo la aprobación de HIDROCAPITAL y la C.A. Metro de Caracas. En el caso de estructuras tipo túnel, la reubicación dependerá del material, geometría de la tubería y de su posición respecto a las curvas de influencia generadas en el suelo por los equipos de construcción a utilizar.

Los materiales de las tuberías, juntas, apoyos y demás obras a ser realizadas en reubicaciones y/o construcciones nuevas estarán de acuerdo a las condiciones de servicio a las cuales estarán sujetas, respetando las Normas para Alcantarillados vigentes. La clase de tubería se seleccionará de acuerdo a lo indicado en las normas e instructivos vigentes para el proyecto de alcantarillado. Nunca se emplearán tuberías con diámetro menor a 8". En el caso de tuberías expuestas, sean provisionales o definitivas se proyectarán los soportes adecuados al tipo de tubería y a las condiciones de servicio de las mismas. En cualquier caso el proyecto de soporte deberá ser aprobado por las secciones estructurales de la C.A. Metro de Caracas e HIDROCAPITAL.

Electricidad y alumbrado eléctrico: Se consideran en esta parte todas las canalizaciones, tanquillas, sótanos, líneas de distribución y demás obras destinadas a la conducción y distribución de fuerza eléctrica a los puntos de consumo. Se incluyen las instalaciones pertenecientes a la Electricidad de Caracas C.A. o a la empresa privada que preste dicho servicio a la localidad. En general, en el caso de instalaciones nuevas y/o aquellas que deben ser reubicadas de forma temporal o definitiva, los proyectos serán responsabilidad de la empresa propietaria del servicio y elaborados bajo las condiciones y coordinación de la C.A. Metro de Caracas.

En el caso de secciones ejecutadas mediante excavación a cielo abierto para estaciones, trincheras, cajones y/o estructuras de ventilación entre otros, los servicios que se encuentren dentro del derecho de vía y/o el área afectada por la ejecución de las obras serán reubicados temporalmente o mantenidos en sitio a criterio del proyectista y del organismo

responsable, de acuerdo a las condiciones particulares del caso. En el caso de secciones tipo túnel del metro la reubicación de cualquier parte del sistema de suministro eléctrico dependerá de su posición respecto a las curvas de influencia generadas en el suelo por los equipos de construcción a utilizar, del tipo de material y de las condiciones en las cuales se encuentre. Los trabajos relacionados con el servicio eléctrico deberán conformarse a las normas establecidas por la empresa propietaria del servicio.

Teléfonos: Se consideran en esta parte todas las canalizaciones, tanquillas, líneas de interconexión y demás obras destinadas a proveer el servicio de comunicación telefónica de CANTV. En general, en el caso de las instalaciones nuevas y/o aquellas que deban ser reubicadas de forma temporal o definitiva, los proyectos y trabajos necesarios serán responsabilidad de la empresa propietaria del servicio. En el caso de secciones ejecutadas mediante excavación a cielo abierto para estaciones, trincheras, cajones y/o estructuras de ventilación entre otros, los servicios que se encuentren dentro del derecho de vía y/o el área afectada temporalmente durante la ejecución de las obras, serán reubicados o mantenidos in situ a criterio del proyectista y del organismo responsable, de acuerdo a las condiciones particulares de cada caso.

En caso de secciones tipo túnel del metro la reubicación de cualquier parte del sistema de suministro del servicio de comunicación telefónica dependerá de su posición respecto a las curvas de influencia generadas en el suelo por los equipos de construcción a utilizar, del tipo de material y de las condiciones en las cuales se encuentre. Los trabajos relacionados con el servicio telefónico deberán conformarse a las normas establecidas por CANTV.

Instalaciones de gas: Se consideran en esta parte todas las canalizaciones, tanquillas, líneas de interconexión y demás obras destinadas a proveer el servicio de gas en la localidad. En general, en el caso de las instalaciones nuevas y/o aquellas que deban ser

reubicadas de forma temporal o definitiva, los proyectos y trabajos necesarios serán responsabilidad de la empresa propietaria del servicio.

En el caso de secciones ejecutadas mediante excavación a cielo abierto para estaciones, trincheras, cajones y/o estructuras de ventilación entre otros, los servicios que se encuentren dentro del derecho de vía y/o el área afectada temporalmente durante la ejecución de las obras, serán reubicados o mantenidos en sitio a criterio del proyectista y del organismo responsable, de acuerdo a las condiciones particulares de cada caso.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

III.1.- NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

Según Hernández Sampieri (1998) la presente investigación es de la forma aplicada porque confronta conocimientos teóricos sobre los métodos constructivos a estudiarse con la realidad, y del tipo descriptiva, ya que tiene como fin analizar los aspectos de cada método constructivo.

Con mucha frecuencia, el propósito del investigador es describir situaciones y eventos. Esto es, decir cómo es y cómo se manifiesta determinado fenómeno. Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. Miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar. (p.60)

III.2.- TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según Arias Odión (1997) este trabajo se considera una investigación de campo porque se recolectan datos directamente de la realidad mediante la observación.

La investigación de campo consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular variable alguna.

III.3.- OBJETO DE ESTUDIO

Los objetos en estudio como ya se ha mencionado anteriormente son la estación Parque Central de la Línea 4 y la estación Coche (actualmente en construcción) de la Línea

3 del Metro de Caracas. Fue escogida una Estación por cada método en estudio de un grupo de 6 estaciones por el Método Trinchera Abierta y 3 por el Método Invertido, ya que son una muestra representativa. La estación de Parque Central fue escogida dentro de su grupo por ser una de las estaciones que más inconvenientes o problemas originó para desarrollo del método, lo cual amplía el tema de estudio en cuanto a evaluación se refiere. La estación de Coche fue escogida porque es la que actualmente se encuentra más avanzada entre las de su categoría, lo que permite mayor observación.

Dados los proyectos de expansión del Metro de Caracas y la construcción de medios de transporte masivo en otras poblaciones del país, es importante extender la información y experiencias acumuladas de cada método para la aplicación futura en obras similares, según los resultados de este trabajo.

La investigación comprende una primera fase que consiste en analizar exhaustivamente la aplicabilidad de dos métodos constructivos en las líneas 3 y 4 del Metro de Caracas. Por la magnitud y complejidad de la construcción de una obra de esta naturaleza.

El estudio contempla también una fase descriptiva donde se establecerá cómo es cada método y se especificarán las actividades más relevantes que serán sometidas posteriormente al análisis. Estas actividades serán escogidas siempre en función de qué tan importante es su afectación a la producción de la obra, al tiempo de ejecución y al costo de la misma. Se buscará especificar las propiedades más importantes para su posterior medición y evaluación; esto se logrará mediante la definición previa de parámetros válidos para ambos métodos.

Es importante destacar que el estudio se hará a través de la observación tal y como se dieron los métodos en el contexto en el que fueron ejecutados. Se observarán los inconvenientes que surgieron como consecuencia de aplicar estas metodologías, se

discutirán sus posibles causas y se darán recomendaciones según la evaluación de experiencias vividas.

III.4.- TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Para realizar la presente investigación se utilizaron las siguientes técnicas de recolección de datos:

- **Revisión bibliográfica:** Consiste en la recopilación de información referente al tema en fuentes impresas como libros, folletos, revistas, documentos, planos, etc., técnica que se aplicó a través de la consulta bibliográfica de memorias descriptivas, cronogramas de trabajo, planos, páginas de Internet, libros y otras fuentes de información referentes al proyecto de la Línea 4 y la extensión de la Línea 3 del Metro de Caracas y de los métodos constructivos analizados.
- **Entrevistas:** Consiste en la obtención de la información directamente de las personas especializadas en el tema, en este caso ingenieros de obra, calculistas y maestros de obra. Entre las personas entrevistadas en esta investigación están: el ingeniero inspector de las obras y ingenieros de la sala técnica. El uso de esta técnica sirvió para la aclaración de todas las dudas concernientes al proyecto y a los métodos constructivos.
- **Observación:** Consiste en recoger los datos necesarios por medio del propio investigador a través de visitas a campo, en el caso de que la observación sea directa. Si la observación es indirecta se obtiene la información de los testimonios de las personas que han tenido contacto con la zona de estudio. Para la aplicación de esta técnica se hizo necesaria la presencia en obra, específicamente en la estación Coche la cual se encuentra actualmente en construcción y una observación indirecta de la estación Parque Central, la presencia en campo se realizó con la finalidad de comparar el proceso constructivo real de las Estaciones con el planteado teóricamente en el proyecto.

III.5.- DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS

Para contrastar la estructura de los métodos trinchera abierta y invertido fue necesario definir cada metodología ya que no se encontró suficiente material bibliográfico, se realizó un desglose de la secuencia de pasos que integra la estructura de cada método, para lograr conocer a detalle la metodología propia de cada uno, logrando identificar los aspectos más marcados que lo hacen diferente el uno del otro, al igual que permite verificar la complejidad que los involucra.

Para contrastar ventajas y desventajas de los métodos en estudio se analizó la secuencia constructiva y actividades más relevantes de cada método, permitiendo esto realizar una lista de ventajas y desventajas que se generó a través de la evaluación de las variables: tiempo, dificultad constructiva, afectación al medio.

Se describió y analizó el Método Trinchera abierta e invertido utilizado para las estaciones en estudio, ya que por condiciones del entorno donde fueron desarrolladas fue necesario realizar algunas modificaciones y adaptaciones para poder operar la obra bajo ciertas particulares del medio.

Se registraron las dificultades sobre las distintas interferencias que se presentaron en el desarrollo de las estaciones en estudio, para tratar de identificar las posibles causas que de alguna forma representaron en su momento una pérdida de tiempo, cambios y aumentos en los costos.

Se Sintetizó las soluciones aplicadas con el como objetivo de proporcionar un material de consulta que proporciona una alternativa de solución en eventos de la misma índole, para evitar pérdida de tiempo y aumento de costos en situaciones similares.

CAPÍTULO IV

MÉTODOS CONSTRUCTIVOS PARA ESTACIONES DE METRO

IV.1.- MÉTODO TRINCHERA ABIERTA

IV.1.1. Preparación del sitio

En esta etapa se ubica el lugar donde se hará la trinchera a través de un levantamiento topográfico, posteriormente se realiza el levantamiento en superficie de todos los servicios públicos, vías de tránsito e inmuebles que se verán afectados por la trinchera. En el caso de los servicios públicos como: acueductos, cloacas, gasoductos y líneas telefónicas dada su condición de ser subterráneos, deberá contactarse a las empresas prestatarias a los que pertenecen para que brinden detalles, planos o informes que revelen su ubicación. Luego se estudia como reubicar dichos servicios en una zona que no se vea afectada por la trinchera y de esta manera no interrumpir la continuidad del servicio. Así mismo, en caso de que existan vialidades que se vean afectadas por la trinchera deberá hacerse un estudio para realizar los desvíos de tránsito que permitan canalizar el tráfico existente, por otra parte debe realizarse las expropiaciones y demoliciones de los inmuebles que estén dentro del área de la trinchera así como la deforestación y limpieza para poder luego realizar la instalación del campamento provisional y liberar el área de trabajo.

IV.1.2. Estructuras de Contención

Al remover el material para la excavación de una trinchera se generan empujes laterales en sus paredes, como consecuencia de sobrecargas superficiales producidas por tránsito vehicular, presencia de fundaciones de edificaciones cercanas, empuje hidrostático (debido a la presión del agua) o simplemente por la generación de este desnivel vertical. En

consecuencia para evitar que la trinchera modifique sus dimensiones y fallen sus paredes se necesitan estructuras de contención que contrarresten dichos empujes.

Las estructuras de contención escogidas dependen de los resultados del estudio de suelos ya que a partir de éste se obtendrán sus características y el perfil litológico. Entre las estructuras de contención más comunes empleadas en trinchera se tienen:

- a.- Muros colados
- b.- Pantallas atirantadas
- c.- Muro Berlín
- d.- Pantalla de pilotes
- e.- Tablestaca
- f.- Talud a desnivel.

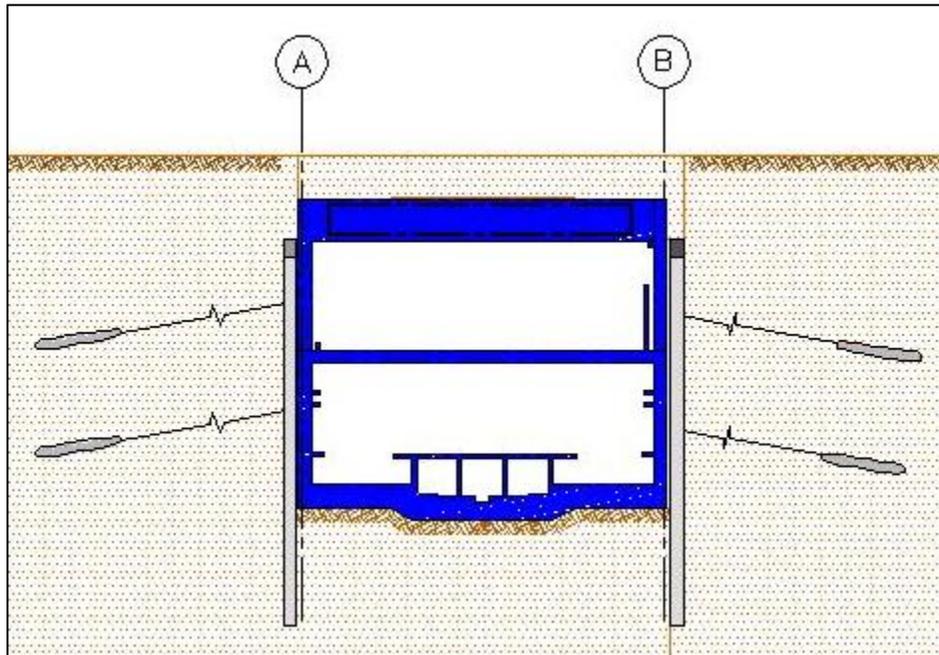


Figura IV.1.2.1 – Estructura de contención muros colados anclados.
Fuente: Departamento Ingeniería Línea 5 Odebrecht (2007).

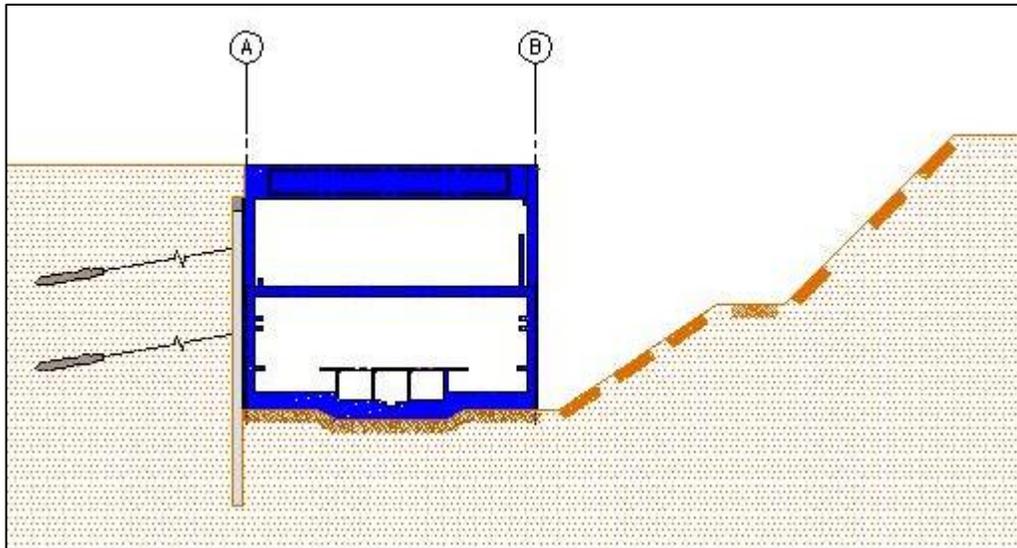


Figura IV.1.2.1 – Estructura de contención con muro colado y talud a desnivel.
Fuente: Departamento Ingeniería Línea 5 Odebrecht (2007).

La escogencia entre estos distintos tipos de estructuras dependen del tipo de suelo (cohesión, ángulo de fricción, densidad, humedad, relación de vacío), profundidades de la trinchera y su espacio adyacente, edificaciones vecinas, nivel freático y de los factores costo y tiempo.

Las estructuras de contención deben realizarse antes de la excavación de la trinchera y son calculadas contemplando su proceso constructivo; en caso de no ser así y ejecutar ambas actividades en paralelo se deberán apuntalar las paredes de la trinchera.

IV.1.3. Arriostramiento de Estructuras de Contención

Luego de estar construidas las estructuras de contención deben vincularse entre sí mediante algún elemento para que trabajen conjunta o solidariamente, además de evitar desplazamientos diferenciales y hacer las paredes internas de la trinchera discontinuas.

Estas estructuras pueden vincularse con una viga cabezal o cualquier otro elemento que evite su desplazamiento relativo.

IV.1.4. Excavación

La excavación de la trinchera está estrechamente vinculada con la estructura de contención escogida, el suelo presente y la maquinaria disponible.

Si las estructuras de contención son ejecutadas antes de la excavación, ésta puede hacerse sin mayor problema siempre y cuando la estructura garantice que no se producirán deformaciones en las paredes de la trinchera.

La excavación puede efectuarse a través de un sistema de rampas o taludes generados sobre el mismo terreno con pendientes que permitan la entrada y salida de las maquinarias y vehículos para el transporte del material removido. Posteriormente a medida que la excavación se profundiza se necesitará (dependiendo de la profundidad de la trinchera) de una grúa torre que retire el material con una tolva, al igual que las maquinarias que se encuentren en el fondo.

En el caso que las estructuras de contención no garanticen evitar deformaciones en la trinchera (porque no se han podido hacer los anclajes respectivos) el avance de la excavación será limitado por el apuntalamiento, éste se hará a la profundidad que el calculista determine, así como el tipo de puntal y las distancias que tendrán entre sí. Entre los apuntalamientos más comunes se conocen: vigas y cerchas metálicas, vigas de madera y vigas prefabricadas de concreto.

Generalmente las dimensiones de una trinchera de una estación de Metro están entre los 180 - 200 m de largo y entre 20 - 40 m de ancho, para poder albergar todos los ambientes requeridos según las Normas de Proyecto de Metro de Caracas, ésta extensión

permite la parcialización de la excavación pudiéndose ejecutar en diversas etapas, lo cual facilita enormemente el trabajo.

IV.1.5. Estructura Interna

Luego que se ha llegado a la cota de fondo de la trinchera, se inicia la construcción de la estructura interna definida según los requerimientos arquitectónicos de la estación en cuestión.

Esta estructura interna se realiza como cualquier otra edificación en superficie, de abajo hacia arriba; se comienza con el vaciado de un concreto pobre sobre el suelo natural para evitar el contacto directo de la losa base con el suelo, posteriormente se arma la losa por paños y se vacía dejando entre sí las juntas de vaciado. Esta losa trabaja además como fundación de la estructura, por lo que tiene espesores entre 1,00 y 1,50 m, y a ella se empotrarán todas las columnas que se necesiten para elevar la losa de mezzanina y techo; a los extremos de la losa se dejan los arranques para las paredes estructurales.

A partir de los arranques dejados se arman las paredes estructurales, se encofran y se realiza su vaciado, del mismo modo deben dejarse los arranques para las columnas, o también pueden apernarse posteriormente a la losa si el calculista así lo decide. Una vez que las paredes estructurales y las columnas alcanzan la resistencia requerida se encofra la mezzanina a partir de andamios estructurales y/o puntales, se arma la losa como esté indicado en los planos del proyecto y se hace el vaciado nuevamente en paños y dejando la junta de vaciado respectiva, la cual debe dejarse alineada verticalmente en el mismo lugar que la junta de vaciado de la losa base. Del mismo modo una vez que la losa mezzanina tiene la resistencia indicada se continúan las columnas hasta el techo, se vacían y se espera que llegue a la resistencia requerida para colocar los andamios nuevamente para encofrar la losa techo.

Posteriormente se colocan las vigas prefabricadas apoyadas sobre los muros colados, se encofra la losa, se arma y vacía. Luego, se ejecutan todos los detalles de arquitectura que hacen que la estructura sea habitable como: escaleras, mampostería, acabados entre otros. Finalmente se construyen los accesos a la Estación desde el nivel calle.

IV.1.6. Reubicación de Servicios Públicos

Una vez que la losa techo obtenga la resistencia adecuada se comienza la reubicación de servicios públicos (post-construcción) a su posición original o en la vía principal afectada. Luego se hace el relleno de la trinchera con un material adecuado para esto, se compacta y posteriormente se inicia la restitución de superficie de vías y espacios públicos.

IV.2.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MÉTODO TRINCHERA ABIERTA

IV.2.1. Ventajas

1. Por su condición de excavación a cielo abierto, tiene mejores formas de desalojo en caso de emergencia.
2. Mayor variedad para la escogencia de estructuras de contención, el Método Trinchera permite desvincular la estructura interna de la estación de las estructuras de contención, lo que da mayor libertad para su escogencia, pudiéndose usar taludes y escalones para estabilizar las paredes de la trinchera, pantallas atirantadas, muros colados, muro Berlín, pantallas de pilotes, tablestaca, según sea lo que más conveniente en un contexto determinado.

3. Menores tiempos en ejecución de la excavación, ya que puede hacerse parcializada, pudiéndose excavar en distintos frentes al mismo tiempo, lo cual disminuye a la mitad el tiempo de excavación. El uso de rampas permite el acceso de vehículos de carga que pueden almacenar un mayor volumen de material y retirarlo de manera más eficiente.
4. No es necesario ningún tipo de ventilación e iluminación artificial mientras se ejecuta la excavación.
5. Este método permite que el retiro del material de la trinchera se haga por cualquier lugar sobre el área de ésta, pueden instalarse torres grúas que con su radio abarquen toda la superficie de la trinchera y permitir el retiro del material en cualquier punto.

IV.2.2. Desventajas

1. Debido a que la trinchera está totalmente descubierta, el agua de la lluvia entra y la inunda dificultando los trabajos si no se ha hecho la losa base.
2. Si el área de la trinchera está sobre una vialidad, ésta deberá ser cerrada porque el tipo de excavación necesaria la invade casi siempre en su totalidad, luego de terminados los trabajos en la trinchera y su posterior relleno se permitirá la restitución de la vialidad.
3. Se deben expropiar las (bienechurias, terrenos, edificaciones) que estén en el área de la trinchera, ya que se necesita un área de campamento considerable.

4. Requiere de una mayor cantidad de encofrado y espacio de almacenaje debido a la gran cantidad de andamios y puntales para encofrar las losas mezzanina, techo y las paredes de la trinchera.
5. Mayor impacto de contaminación sónica al no haber una barrera que encierre los sonidos de maquinarias, martillazos y demoliciones generando una mayor afectación a los vecinos de la obra.
6. La reubicación de los servicios públicos, restitución de superficie y liberación del tráfico solo se puede ejecutar al concluir el relleno de la trinchera.

IV.3.- MÉTODO INVERTIDO

Antes de iniciar con los trabajos constructivos se realiza el levantamiento de la zona para despejar el área a utilizar, llevando a cabo las correspondientes expropiaciones, demoliciones, reubicación de servicios públicos (pre-construcción), desvíos de tránsito, deforestación y limpieza del sitio, luego de ello se procede a la construcción del campamento provisional y al cierre del área de trabajo para el almacén de los equipos y materiales.

Este método es un caso bien particular ya que la secuencia de pasos resulta de forma inversa a los métodos tradicionales, en este caso después de la ejecución de los muros colados que además de cumplir con la función de elemento de contención también forma parte de la estructura del método se procede a realizar la excavación calle-techo hasta la cota de fondo de la losa de techo, enseguida de esta actividad se realiza en paralelo la conformación del terreno y el descabezamiento del muro colado, finalizado esto se realiza el armado y vaciado de la losa, luego se inicia la excavación techo-mezzanina por las reservaciones que existen en el nivel techo, una vez alcanzada la cota de fondo de mezzanina se descubren los cajones del muro posteriormente se prepara el terreno, se arma

y se vacía la losa. Por último la excavación mezzanina-base se realiza por los vacíos de la losa mezzanina hasta alcanzar la cota de fondo de la losa base, en este caso se debe considerar que la excavación puede ser más profunda por la presencia del nivel freático, ya que se deberá colocar una capa de material drenante, también deberá colocarse el sistema de puesta tierra para poder así armar y vaciar la losa base.

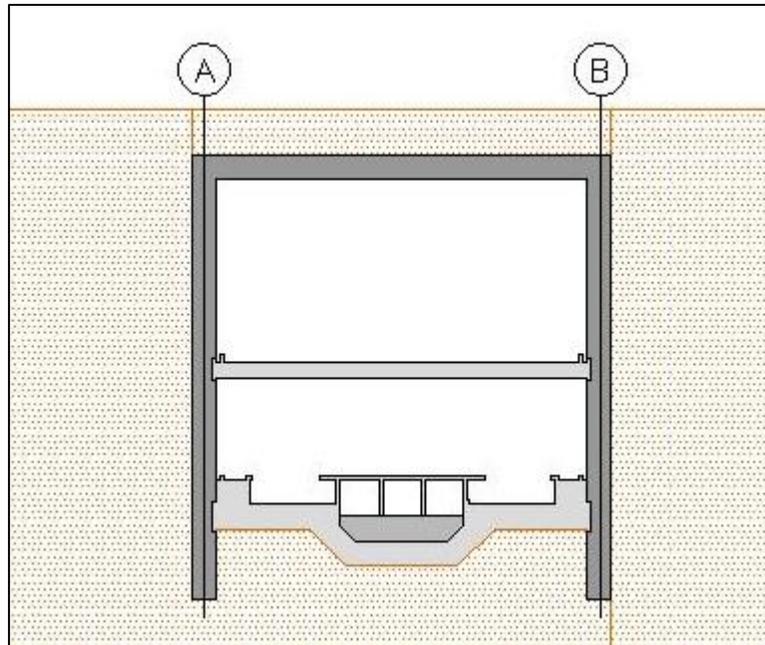


Figura IV.3.1 – Sección típica del Método Invertido
Fuente: Departamento Ingeniería Línea 3 Odebrecht (2007).

El avance de la losa de mezzanina va precedida por la losa de techo y a su vez la de base por la de mezzanina ya que solo cuando se encuentre ejecutado el tramo de losa superior al que se desea realizar se podrá avanzar la excavación y de esta forma liberar el área de trabajo.

IV.3.1. Excavación Calle-Techo

Se realiza a lo largo de toda la Estación utilizando equipos de excavación que acceden por rampas, puede ejecutarse por varios frentes o en función de la planificación de

la obra, garantizando el cumplimiento de todas las actividades y tratando de liberar las áreas que sean prioridad, se deben dejar los recesos para poder acceder y retirar el material hasta el nivel base.

IV.3.2. Descabezamiento de Muro Colado

Cuando se realiza el vaciado del muro colado bajo lodo bentonítico, existe la posibilidad de que el concreto llegue a contaminarse, es por ello que la cota de vaciado se estima por encima de la cota real de losa techo. Cuando se realiza la excavación Calle-Techo se debe descabezar la parte de concreto contaminado hasta alcanzar la cota deseada, dejando el acero del muro para empotrar la losa y de ser necesario se debe colocar acero de refuerzo adicional para garantizar el amarre adecuado de la losa con el muro.

IV.3.3. Empotramiento de Losa

Cuando se realiza el armado del cuerpo de los paneles que conforman el muro colado deben dejarse provisiones a nivel de la losa mezzanina y andén para garantizar el empotramiento de éstas, generalmente se deja un cajón de madera que tiene el largo del panel y el ancho de la losa con 20 cm de holgura.

IV.3.4. Excavación Techo-Mezzanina

Esta segunda etapa tiene la limitante de tener que realizarse por las reservaciones que se dejaron en la losa de techo, restringiendo de esa forma los frentes de trabajo.

Antes de ubicar la maquinaria para la excavación es recomendable la colocación de una capa de relleno sobre la losa para garantizar su integridad, generalmente se inicia el retiro del material desde el nivel techo y una vez que se tenga suficiente espacio, se

introduce otra maquinaria que cumpla con la función de cortar y movilizar el material hasta el receso para que pueda ser sacado a la superficie.

IV.3.5. Excavación Mezzanina-Base

Al igual que entre Techo-Mezzanina se realiza por recesos, sin embargo, resulta más complicado por tener una mayor profundidad, dificultando la movilización del material hasta la superficie, en la mayoría de los casos se realiza mediante grúas que suspenden la tolva hasta niveles inferiores donde es cargado por otro equipo y transportado hasta niveles superiores.

Es importante resaltar que esta actividad puede estar influenciada por la presencia del nivel freático provocando bajo rendimiento y dificultad en su ejecución.

IV.3.6. Conformación del Terreno

Después de alcanzar la cota de fondo de la losa a ejecutar debe conformarse el terreno para garantizar una superficie uniforme y poder luego colocar las respectivas guías para el vaciado del concreto pobre.

IV.3.7. Colocación de Concreto Pobre

Antes de iniciar el armado de la losa se vacía en toda la superficie una capa de 10 cm de concreto pobre para garantizar la nivelación y poder comenzar con la colocación del acero.

IV.3.8. Armado de Losa

El armado se realiza según las especificaciones de los planos del proyecto respetando siempre, diámetro, longitud, separación entre barras y solape, debe cuidarse que durante el armado se coloquen los respectivos separadores para garantizar el recubrimiento de concreto al igual que deberá chequearse la separación entre las capas superiores e inferiores de acero y su correspondiente amarre. La preparación del acero se realiza dentro de la obra y el transporte en su mayoría se hace mediante grúas torres o maquinarias pesadas.

La especificación de resistencia del acero será suministrada por el calculista al igual que las características de las barras.

IV.3.9. Vaciado de losa

Para realizar el vaciado debe antes verificarse la correcta colocación del acero, además de prever todas las reservaciones necesarias para las tuberías empotradas en la losa y dejar los arranques requeridos para la construcción de otras estructuras a posterior; es importante garantizar una buena junta en la losa, ya que por tener una longitud tan grande debe ser construida por tramos.

Antes del vaciado deben verificarse los valores y propiedades del concreto según el diseño de mezcla (resistencia, asentamiento y aditivos). Durante el vaciado debe garantizarse que se vibre el elemento para evitar juntas frías y tratar de que no se interrumpa por lapsos de tiempo muy largos, que pudieran poner en juego la integridad del elemento.

IV.4.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MÉTODO INVERTIDO

IV.4.1. Ventajas

1. Permite realizar la restitución de superficie antes de finalizar la construcción de la Estación por se la losa de techo la primera en ejecutar.
2. Al realizar la losa de techo puede utilizarse esa área para almacén de equipos y materiales.
3. Por la secuencia constructiva del método las losas son armadas sobre tierra permitiendo vaciar tramos de gran longitud.
4. Resulta un método bastante seguro por estar trabajando siempre sobre suelo firme.
5. Al construir en secuencia inversa se permite liberar la losa para realizar cualquier trabajo que se amerite sobre ella y poder trabajar en los niveles inferiores sin mayores inconvenientes.
6. Por ser la losa de techo la primera en ejecutar evita el paso del agua en épocas de lluvias y la paralización de los trabajos que se realiza en los niveles de mezzanina y andén, ya que los recesos no son lo suficientemente grande como para permitir la entrada de abundante agua que pudiera interferir con los trabajos.
7. El rendimiento del personal obrero aumenta por no estar expuesto al sol durante todo el día, lo que permite tener un menor desgaste físico.

8. Pueden realizar varias actividades en paralelo una vez ejecutada las losas.
9. Por ser la excavación una actividad que se realiza por etapas el tiempo para abatir el nivel freático es más prolongado, lo cual requiere de una menor instalación de pozos.
10. Por construirse la Estación de arriba hacia abajo permite que las losas de techo y mezzanina cumplan con la función de arriostrar y apuntalar los muros, no requiriendo ningún otro elemento.

IV.4.2. Desventajas

1. Limita la excavación por los recesos que se dejan en la losa mezzanina y base, lo que hace la actividad más lenta y compleja.
2. Al momento de excavar los muros colados pueden presentarse sobre-excavaciones que ameriten ser rellenadas con concreto provocando que se transforme en un elemento para demoler a posterior.
3. Al ser los muros colados parte de la estructura no amerita la construcción de muros internos, sin embargo, requiere de un tratamiento para cubrir la cara que queda expuesta, ya que el acabado no es el apropiado.
4. El avance de la losa inferior va precedido por la superior, entonces en caso de no poder ejecutar un tramo de éstas, las actividades de la losa inferior se verán afectadas hasta tanto se vacié la losa superior.

5. Cuando los cajones de madera que se dejan en el muro para empotrar las losas no quedan a nivel debe sembrarse el acero para poder amarrar la losa, lo que amerita una inversión de tiempo mayor.
6. Los recesos deben cerrarse sólo cuando culmine la construcción de las losas inferiores y no haya la necesidad de movilizar equipos y materiales.
7. La estructura requiere de mayores acabados de arquitectura por ser los muros parte de la estructura definitiva.
8. Por estar trabajando con la trinchera cubierta existe mayor concentración de polvo y gases lo cual podría requerir de la instalación de un sistema de ventilación artificial mientras se ejecutan los trabajos de excavación.
9. Debe instalarse un sistema de iluminación permanente por tener poco entrada de luz natural.

IV.5.- CONTRASTE DEL MÉTODO TRINCHERA ABIERTA E INVERTIDO

		MÉTODO CONSTRUCTIVO	
		TRINCHERA ABIERTA	INVERTIDO
Acondicionamiento de Área	Levantamiento topográfico en superficie de todos los inmuebles, vías de tránsito, espacios públicos y servicios (acueductos, cloacas, gasoductos, Telefonía), reubicación fuera del área de la trinchera y expropiación de edificaciones privadas, remoción de vegetación y cerramiento del área de la trinchera y el campamento.		
Estructura de Contención	<p>Cualquier estructura de contención que detenga el empuje de tierra:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Muros Colados • Pantallas Atirantadas • Muro Berlín • Pilotes • Tablestaca • Talud a desnivel. 	Se utilizan los muros colados los cuales resisten el empuje del suelo y las corrientes de aguas subterráneas.	
Excavación	La excavación se realiza en una primera etapa a través de rampas y taludes con pendientes que permitan el acceso y salida de las maquinarias de excavación y remoción del material, la excavación se hace parcializada, en las últimas etapas es necesaria la grúa torre para sacar el material. La excavación es ejecutada a cielo abierto.	La excavación se realiza en tres fases, la primera entre la cota del terreno natural y la cota de fondo de la losa techo, se ejecuta con maquinarias de excavación que acceden por medio de rampas, la segunda etapa está limitada por los recesos previstos para tal fin lo que disminuye el rendimiento de la actividad ya que el desalojo del material se realiza con equipos de menor capacidad y la última fase es entre la cota de fondo de la losa mezzanina la cual está también limitada por los recesos y resulta más complejo por estar a una mayor profundidad	

Tabla N°1 Contraste del Método Invertido y Trinchera Abierta.

Fuente: Autoría propia .

		MÉTODO CONSTRUCTIVO	
		TRINCHERA ABIERTA	INVERTIDO
Arriostramiento	Dependiendo de la estructura de contención, puede hacerse a través de una viga cabezal.	Los muros están arriostrados por medio de la losa techo, mezzanina y andén; para el caso de las barretas por vigas	
Apuntalamiento	El apuntalamiento depende de la estructura de contención, puede que no sea necesario, sin embargo si es necesario se realiza con vigas y cerchas metálicas, vigas de madera, vigas prefabricas de concreto anillos de concreto	El sistema de apuntalamiento está constituido por las losas de la estación.	
Anclajes	Dependen del tipo de estructura de contención, para muros colados se necesitan anclajes, las pantallas necesitan tirantes, el muro Berlín y la tablestaca no necesita anclajes pero debe estar empotrado a una profundidad indicada por el calculista, los taludes no necesitan anclajes, su estabilidad se realiza con las pendientes indicadas en el proyecto.	En este método solo son necesarios los anclajes en casos específicos donde los muros no puedan alcanzar el empotramiento necesario presentando un riesgo de volcamiento. (Ej. En los portales de la Estación)	
Elementos Estructurales	Posee la estructura de contención independiente de la estructura interna, está conformada por losa base (fundación), paredes estructurales, columnas, losas y vigas.	Los elementos estructurales son los muros colados, losas, vigas y barretas, el muro colado cumple con dos funciones, como elemento de contención y estructural.	
Relleno	Esta actividad se inicia una vez concluida la losa de techo y realizada la impermeabilización de la misma, para ello se requiere de equipos de compactación y de ensayos para verificar el % de compactación requerido.		

Tabla N°1 Contraste del Método Invertido y Trinchera Abierta.

Fuente: Autoría propia

MÉTODO CONSTRUCTIVO		
	TRINCHERA ABIERTA	INVERTIDO
Restitución de superficie	Es la fase final de la obra, en la cual se reubican los servicios, se restituye la vialidad y espacios públicos, se hace una vez que la trinchera este cerrada y culminada la estructura de soporte.	En esta actividad se reubican los servicios, se restituye la vialidad y los espacios públicos, sin embargo este método brinda la oportunidad de poder iniciar estos trabajos mucho antes de concluida la estación por ser la losa de techo la primera en construirse liberando el nivel superficie.

Tabla N°1 Contraste del Método Invertido y Trinchera Abierta.

Fuente: Autoría propia

CAPÍTULO V

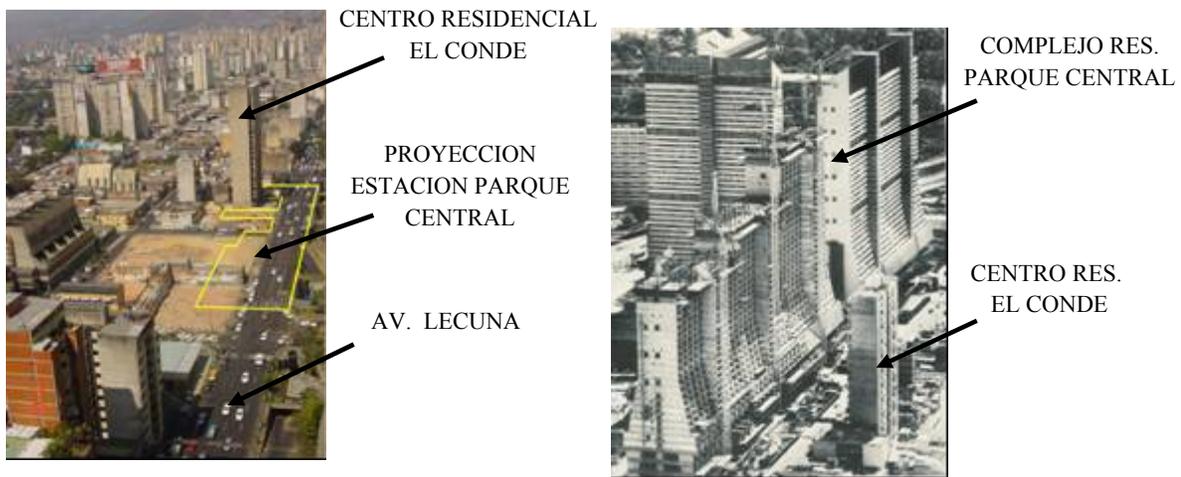
MÉTODOS CONSTRUCTIVOS UTILIZADOS EN LAS ESTACIONES PARQUE CENTRAL Y COCHE DEL METRO DE CARACAS

V.1.- ESTACIÓN PARQUE CENTRAL

V.1.1. Entorno

La estación Parque Central pertenece a la Línea 4 del Metro de Caracas que se extiende a lo largo de las Av. San Martín, Lecuna y El Paseo Colón, con una longitud de 5,65 Km. Está ubicada en la Av. Lecuna, entre la Av. Sur 21 y Av. Sur 17 de la ciudad de Caracas, teniendo como linderos al Norte el Complejo Residencial Parque Central, conformado por 8 edificios, 6 de ellos con 3 sótanos para estacionamiento, 2 niveles de áreas comerciales y 44 pisos para viviendas, también pertenecen al complejo dos torres de oficinas de 64 pisos cada una, del Complejo Parque Central los Edificios Caroata, Catuche y Tajamar colindan con la Estación. Al Suroeste está el edificio Centro Residencial El Conde compuesto por un sótano, planta baja con áreas comerciales y 22 pisos para viviendas.

El entorno de la estación Parque Central es una zona densamente poblada, con una intensa actividad comercial y una de las Avenidas de mayor importancia para la circulación en el centro de Caracas, además de esto, el área donde fue ubicada la Estación se encontraba fuertemente intervenida por servicios públicos que debieron ser removidos y restituidos posteriormente. Todos estos aspectos fueron tomados en cuenta en el desarrollo de la metodología constructiva de la Estación, ya que debían garantizarse la seguridad de las personas que circularan o habitaran en los alrededores de la zona, así como perturbar lo menos posible la vida cotidiana de los vecinos a la obra.



*Figura V.1.1.1 – Ubicación y Entorno de La Estación Parque Central.
Fuente: Destaque Gestión de Proyectos (2005).*

V.1.2. Aspectos Geológicos y Geotécnicos

Los primeros sondeos ejecutados en la zona de la Estación Parque Central, indican un área con presencia de sedimento coluvial aluvial predominantemente arenoso con presencia de peñones y fragmentos de roca. Se observaron intercalaciones de capas de sedimentos finos (arcillas) distribuidas en forma aleatoria, con diferentes espesores y a diferentes profundidades.

En el sector del Edificio Centro Residencial El Conde se realizaron 10 sondeos alrededor de sus fundaciones para determinar con seguridad el tipo de suelo en el que se encontraban, ya que esta información era determinante para los trabajos a su alrededor.

El análisis de las perforaciones complementarias indicó que entre los 11 y 12 m existe la presencia de un suelo errático, tanto desde el punto de vista de su composición litológica como su resistencia a la penetración. El suelo estaría conformado por material limoso y arena fina con un resultado del Ensayo de Penetración Estándar de 15 golpes.

A partir de los 12 m se observó un dominio de suelos granulares, friccionantes y muy densos, constituidos principalmente por arenas gruesas, gravas y peñones, con resultados del Ensayo de Penetración Estándar de 60 golpes.

V.1.3. Estructura de la estación Parque Central

La estación Parque Central es una estación de Metro subterránea, con una longitud de 190 m y un ancho que varía entre 35 m y 17 m, ocupando un área aproximada de 4860 m², posee una profundidad promedio de 18 m y está conformada por 2 niveles, mezzanina y andén. La Estación cuenta con tres accesos que la comunican con la superficie y permite la entrada y salida de los usuarios.

Las estructuras de contención del empuje de tierra que se generan por la excavación del suelo en el área de la trinchera están constituidas por muros colados, pantallas de pilotes y taludes a desnivel.

Los muros colados del perímetro de la trinchera son de espesor 0,60 m y 1,00 m, con longitud y alto variable. Para su sostenimiento se utilizaron anclajes y en aquellas zonas que estaban intervenidas por fundaciones profundas, sótanos o servicios públicos se usaron vigas metálicas como puntales. Los muros se arriostraron en su parte superior con una viga cabezal y en el nivel intermedio con una viga longitudinal para evitar desplazamientos diferenciales en el momento de la excavación.

Los muros colados en forma de doble T ubicados en el eje A/0-3 (ver figura V.1.3.1) son de dimensiones de: 1,00 m de ancho por 6,00 m de largo, y de 0,70 m de ancho por 3,00 m de largo.

Se utilizaron taludes entre los ejes B-C/6-16 (ver figura V.1.3.1) para aminorar el empuje de tierra en este sector de la trinchera, además de servir como rampas de acceso

para las maquinarias que realizaron la excavación.

La estructura interna de la Estación es independiente de la estructura de contención y está constituida por un cajón de concreto armado compuesto por una losa de fondo maciza de 1,10 m de espesor a lo largo de toda la Estación, cuya sección debe adecuarse al gálibo y requerimientos de los trenes y andenes especificados por la C.A. Metro de Caracas, debe poseer por su extensión juntas de vaciado. La losa está arriostrada a las paredes internas de la Estación, y poseen un espesor de 0,60 m.

La losa de la mezzanina es maciza de espesor 0,60 m y se extiende a lo largo de toda la trinchera, está soportada por las paredes internas de la Estación, posee ductos para el paso de ventilación e instalaciones sanitarias y recesos para los ascensores, ésta losa es armada a partir de arranques dejados de las paredes estructurales. La losa techo está igualmente apoyada por las paredes internas de la Estación tiene un espesor de 1,00 m y es el elemento que completa el cajón de concreto armado.

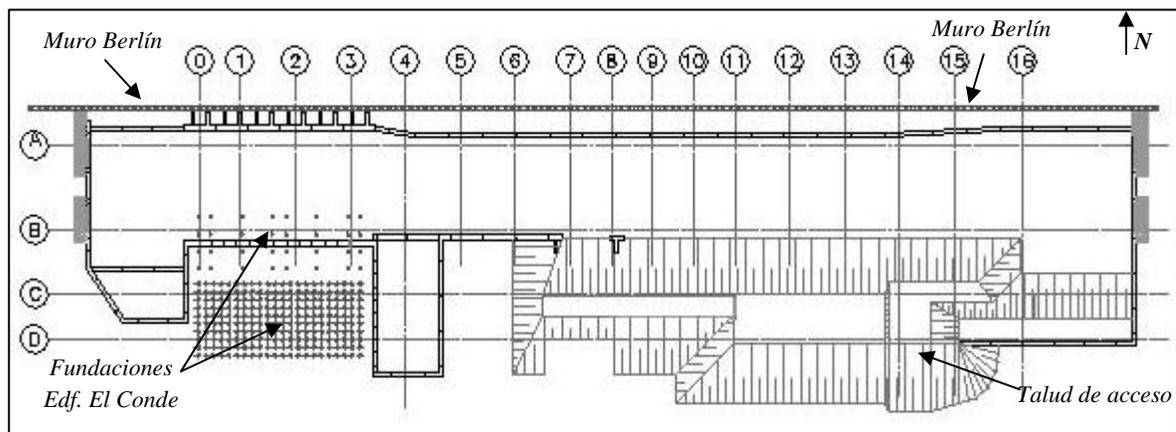


Figura V.1.3.1 – Planta de la estación Parque Central.
Fuente: Departamento Ingeniería Línea 4 Odebrecht (2004).

V.1.4. Método constructivo Trinchera Abierta

La estación Parque Central resultó un desafío para la ingeniería a nivel constructivo debido al complejo contexto en el que se encontraba; por el Norte el Complejo Parque Central con tres sótanos cuyos anclajes invadían el área de la trinchera, al Suroeste el Centro Residencial El Conde con las fundaciones del anexo Norte ocupando también un área importante. Sumado a estas dificultades se tuvo el paso de la TBM (*Tunnel Boring Machine* por sus siglas en inglés) previo a la excavación de la trinchera dejando los dos túneles para la línea de Metro con toda su estructura a lo largo de la Estación complicando así la metodología. Por otra parte, la presencia del nivel freático indujo la colocación de pozos de abatimiento para permitir la excavación por debajo de este. La trinchera también ocupaba todo el lindero Norte del Complejo Parque Central lo que impedía que en caso de una emergencia se acercaran a la edificación los organismos de seguridad y/o bomberos, por lo que debió colocarse un tablero metálico que permitiera el acceso de estos organismos. Por último la presencia de estas grandes edificaciones alrededor de la trinchera hizo necesario la colocación de un riguroso sistema de instrumentación que permitiera monitorear a cada instante el estado de estas estructuras y vigilar como éstas eran influenciadas por el desarrollo de la obra a su alrededor, garantizando en todo momento su estabilidad y seguridad.

Para el desarrollo de una obra tan compleja se estableció la siguiente metodología:

1. Expropiación y demolición de Inmuebles

Para iniciar los trabajos debió prepararse el terreno que ocupó la trinchera, se iniciaron las actividades de limpieza, deforestación y demoliciones de los inmuebles expropiados, también fue necesario remover el pavimento, aceras, brocales y cunetas que ocupaban el espacio.

2. Replanteo de la Estación

A partir de las coordenadas de los planos del proyecto y a través de un levantamiento topográfico se ubicaron los ejes y contornos de la Estación; se confirmó el alineamiento, dimensiones de la estructura y cotas de los diferentes niveles.

3. Instalación de las instrumentaciones previstas

Durante todas las fases de excavación se mantuvieron las edificaciones instrumentadas, esto permitió tener un control de los asentamientos y rotaciones angulares de las estructuras así como las deformaciones en el terreno.

4. Ejecución de columnas de *jet-grouting* al Este y Oeste de la trinchera

Los muros colados sobre los portales de los túneles no se ejecutaron hasta la cota fondo de la trinchera, para no intervenir con el paso de la TBM, en lugar de esto se complementaron con columnas de *jet-grouting* (ver figura V.1.4.1):

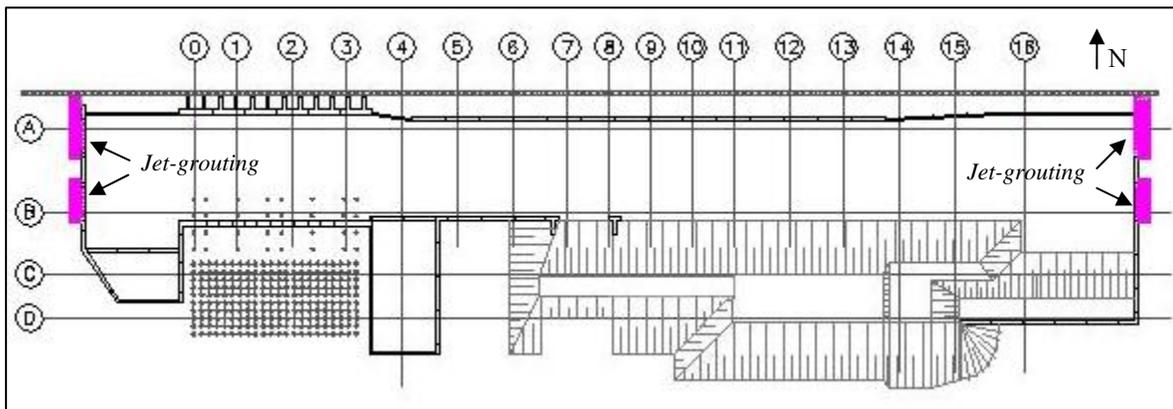


Figura V.1.4.1 – Ejecución de *jet-grouting* en los portales de los túneles.
Fuente: Departamento Ingeniería Línea 4 Odebrecht (2004).

5. Ejecución de las demoliciones y refuerzos de las fundaciones del Centro Residencial El Conde

Esta actividad se realizó durante las distintas fases de excavación y durante toda su ejecución se mantuvo un constante monitoreo de toda la edificación para controlar posibles asentamientos diferenciales que pudiera dañar su estructura.

6. Remoción de los anclajes existentes de los sótanos de Parque Central

Estos anclajes habían dejado de trabajar y durante las distintas fases de excavación fueron retirados para poder realizar los muros colados al Norte de la Estación.

7. Pasaje de la TBM

Esta acción debió realizarse antes de la excavación de la trinchera, por un adelanto en la entrega del túnel lo que dificultó posteriormente los trabajos.

8. Reubicación de servicios públicos

Todas las interferencias como acueductos, cloacas, drenajes, líneas telefónicas gasoductos y fibra óptica fueron reubicadas provisionalmente fuera de la trinchera para no interrumpir su servicio.

9. Ejecución de Primera fase de muros colados

Se excavó hasta 4,10 m del nivel superficie y se ejecutó la primera etapa de muros colados, para lo cual fue necesario verificar las fundaciones del Centro Residencial El Conde, ya que los muros se encontraban muy cercanos a la infraestructura del edificio (ver figura V.1.4.2). Luego se ejecutó la viga cabezal y se hicieron los pilotes que fueron las bases para la instalación del tablero de acceso al Complejo Parque Central.

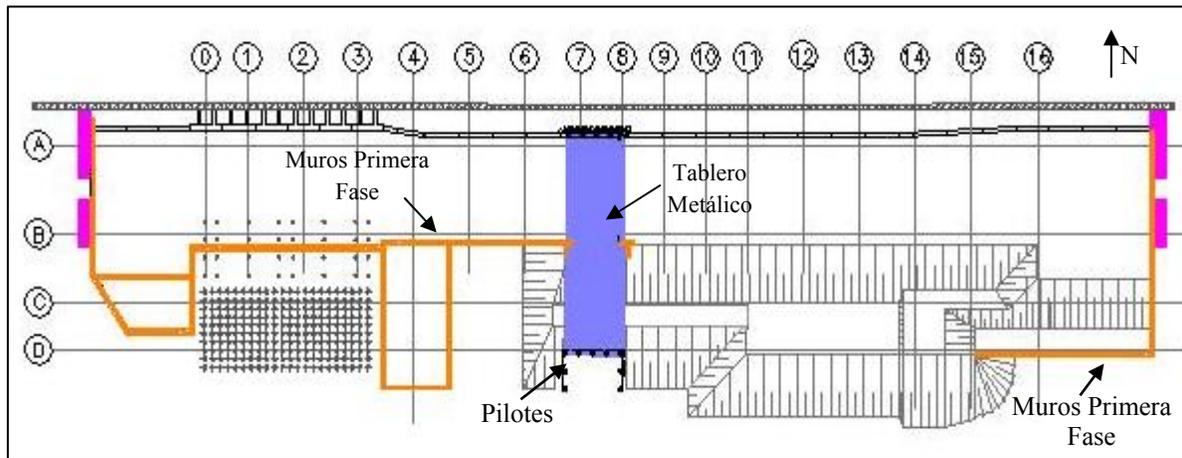


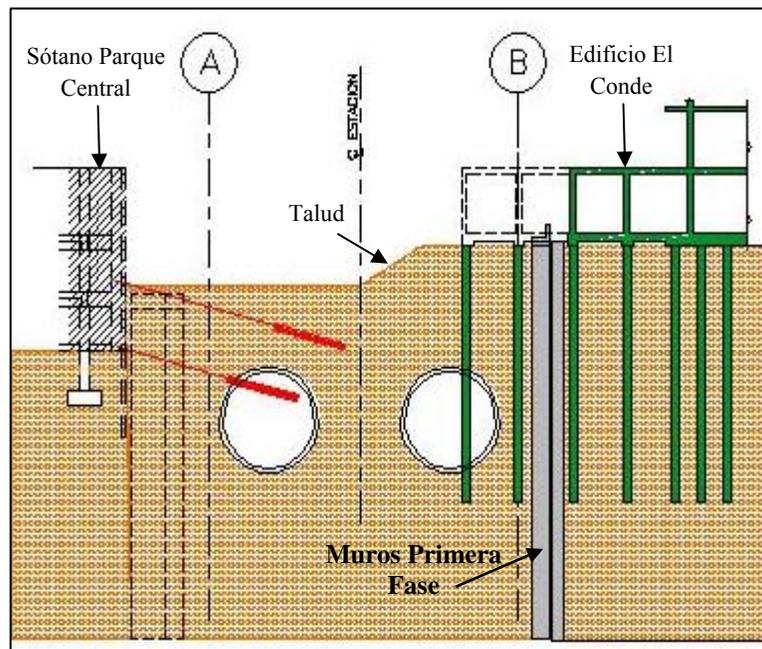
Figura V.1.4.2 –Planta de ejecución de primera fase de muros colados y tablero.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2004).

10. Instalación de piezómetros y ejecución de los pozos de abatimiento.

Para poder realizar la excavación se colocaron alrededor de la trinchera pozos de abatimiento para bajar el nivel freático.

11. Ejecución de segunda fase de muros colados

Se excavó hasta el nivel de la segunda fase de muros colados a 7,60 m por debajo de la superficie, conservando un talud frente al Centro Residencial El Conde para compensar el empuje generado por el edificio (ver figura V.1.4.3), luego se ejecutaron los muros ubicados en el eje A/0-16 y se colocó el primer nivel de anclajes correspondientes a la primera fase de muros colados, excepto en el área del Centro Residencial El Conde ya que las fundaciones profundas del edificio no lo permitían y en su lugar se colocaron puntales metálicos.



*Figura V.1.4.3 – Corte de excavación área Centro Residencial El Conde.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2005).*

12. Segunda fase de excavación

Se excavó hasta el nivel de la viga longitudinal (viga metálica) para realizar su instalación, posteriormente se colocaron los puntales entre los ejes A-B/0-3 y en el resto de la trinchera se colocó el segundo nivel de anclajes, en este período se activaron los pozos de abatimiento para no tener inconvenientes con el nivel freático. Se finalizó con el tercer nivel de anclajes en todos los muros de la Trinchera y el segundo nivel de puntales en el área de Centro Residencial El Conde, se terminó con la excavación hasta el fondo de la trinchera, colocando posteriormente la capa de material drenante.

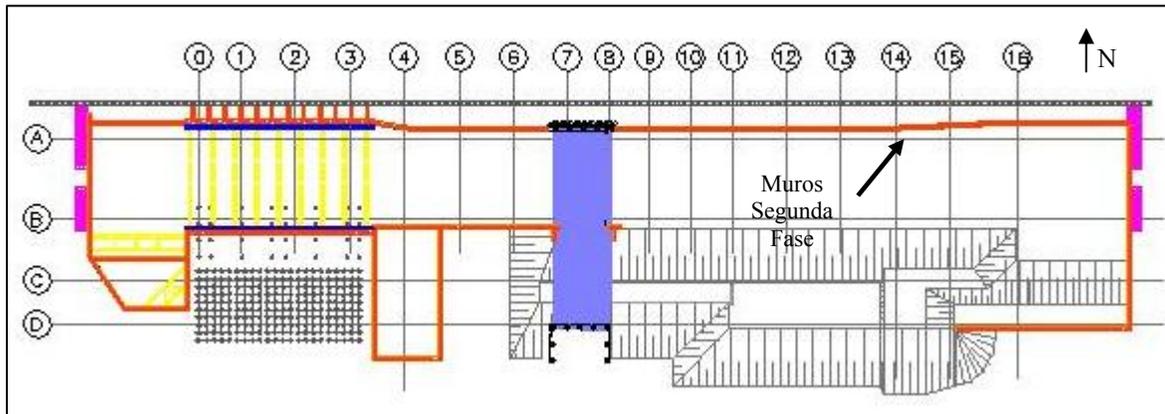


Figura V.1.4.4 – Planta de ejecución de segunda fase de muros colados.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2004).

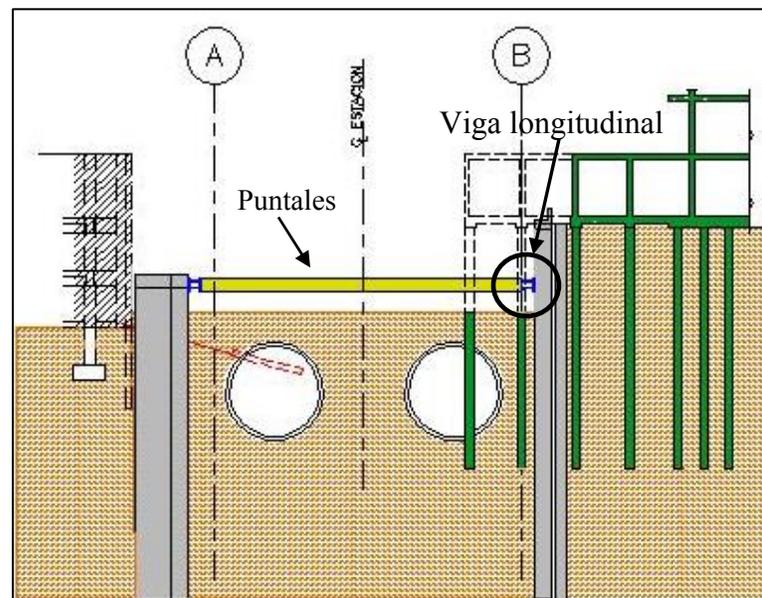
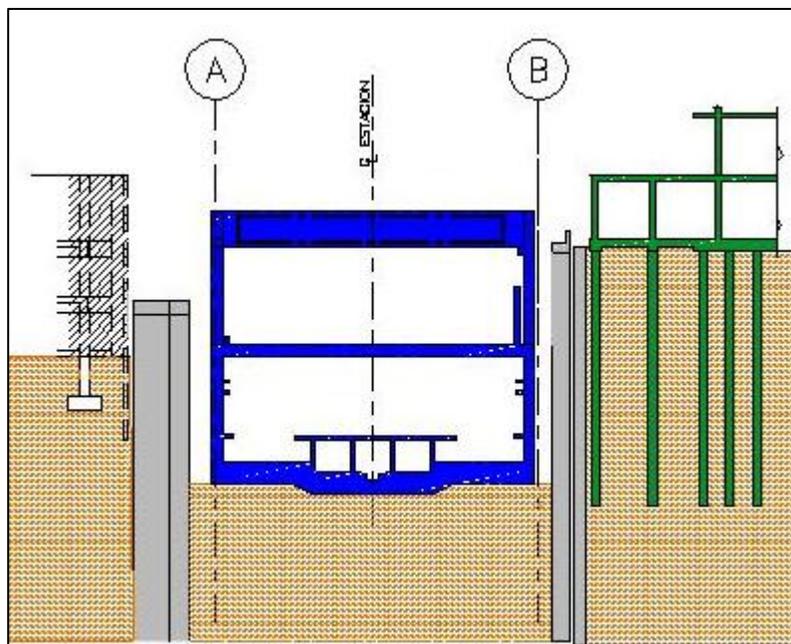


Figura V.1.4.5 – Corte de segunda fase de muros colados y apuntalamiento.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2005).

13. Estructura Interna

Ésta se construyó de abajo hacia arriba, primero se ejecutó la losa base dejando los arranques para las paredes internas, cuando esta losa alcanzó la resistencia necesaria se retiró el segundo nivel de apuntalamiento y se continuó el armado y vaciado de las paredes dejando los arranques para la losa mezzanina y para continuar la pared hasta la losa techo, se ejecutó la losa mezzanina y posteriormente el retiro del primer nivel de apuntalamiento, luego se continuaron las paredes hasta el nivel techo, se colocaron vigas prefabricadas y finalmente se ejecutó la losa techo.



*Figura V.1.4.6 – Corte de estructura interna de la Estación Parque Central
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2005).*

14. Construcción de los Accesos

Para la construcción del acceso 2 se excavó en tres fases distintas y en cada una se instalaron los puntales y se retiraron los anclajes que pertenecían a los muros colados del eje B/3-5, al llegar a la cota fondo se colocó la capa drenante y se demolieron los paneles ubicados a la entrada del acceso, por último se ejecutó la losa base. Los acceso 1 y 3 se ejecutaron al finalizar la estructura interna de la estación.

15. Ejecución del relleno y restauración de la superficie.

Luego de finalizarse la estructura interna de la estación y que la losa techo obtuvo la resistencia requerida se realizó el relleno, reubicación de servicios y restitución de superficie, dejando los espacios listos para ser entregados.

V.2.- DIFICULTADES EN LA APLICACIÓN DEL MÉTODO

V.2.1. Centro Residencial El Conde

El Centro Residencial El Conde se encuentra ubicado al Suroeste de la estación Parque Central, el edificio se divide en tres estructuras: un anexo Norte de 1 nivel, un anexo Sur de 2 niveles y una estructura central o cuerpo principal. Parte de las fundaciones del anexo Norte estaban ubicadas dentro del área de la trinchera, por lo cual se propuso la expropiación del edificio completo, pero ésto implicaba expropiar un total de 80 apartamentos así como los locales comerciales ubicados en planta baja, no obstante por razones de costos la expropiación del edificio no procedió, teniéndose que generar una alternativa a la primera propuesta planteada.



Figura V.2.1.1 – Centro Residencial El Conde al inicio de las actividades.
Fuente: Destaque Gestión de Proyectos (2004).

Estructuralmente, el edificio está constituido por 8 pantallas de concreto armado. Las pantallas descansan sobre una macrolosa de 9,84 m x 31,40 m, fundada sobre 220

pilotes cuyos diámetros varían entre 42 y 52 cm y longitud aproximada de 12 m, y su distribución obedece a una malla de 1,40 m x 1,40 m. Por su parte, los anexos están fundados sobre pilotes aislados e independientes de la estructura principal y separados por una junta. La parte inferior de los anexos y de la estructura central conforman el sótano del edificio.

Debieron demolerse el anexo Norte junto a 16 pilotes de su fundación por estar dentro del área de la trinchera, sin poner en riesgo la estabilidad del Centro Residencial El Conde y demás estructuras aledañas. Durante todos los trabajos se tomaron fuertes medidas de instrumentación del edificio y de los muros de sostenimiento a su alrededor, como indicadores de su estabilidad, revisándolas diariamente junto con los niveles del nivel freático abatido en la Estación, al cual se le realizaba un estricto control y mantenimiento para su óptimo funcionamiento.

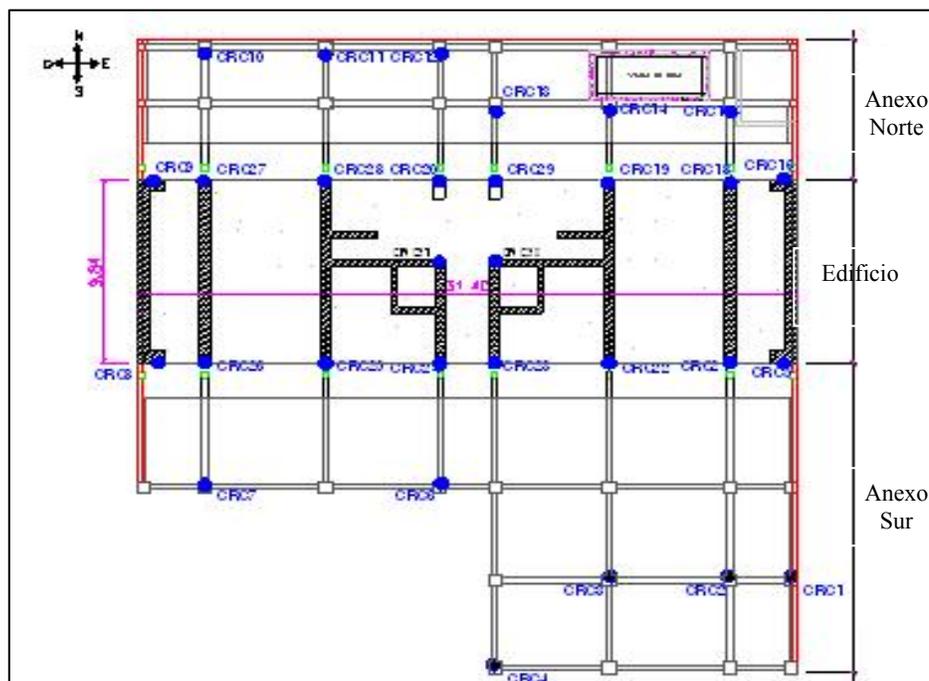


Figura V.2.1.2 – Croquis de la Estructura del Centro Residencial el Conde.
Fuente: Destaque Gestión de Proyectos (2005).

La solución ejecutada fue la demolición del anexo Norte y sus fundaciones, para esto se realizó la siguiente instrumentación:

- Instalación de una red de 30 pernos de nivelación para el control de asentamientos, distribuidos entre la torre principal (18), el anexo Norte (6) y el anexo Sur (6). Los pernos de este edificio son de bronce, embutidos y fijados a las columnas mediante epóxi, de manera de ser protegidos contra cualquier posibilidad de golpes. Los puntos se nivelan diariamente durante las diferentes fases constructivas de los túneles gemelos y de la Estación.
- Medición del perfil de deformaciones del terreno con respecto a la profundidad desde la superficie, mediante la instalación de 2 inclinómetros en el frente del edificio, los cuales se midieron durante el paso de las TBM Sur y Norte. Para el período analizado, se observó que la magnitud de los valores leídos en el inclinómetro 1 e inclinómetro 2, eran muy pequeños e inferiores a 5,00 mm.
- Seguimiento instrumental de las posibles rotaciones angulares (control de la verticalidad), que se pueden producir en las fachadas Norte y Oeste del Edificio, mediante la fijación a la estructura de 9 tarjetas reflectivas tipo Leica, de 60 mm x 60 mm, para ser utilizadas en 3 secciones ubicadas a diferentes alturas en la cara Norte y en 3 secciones ubicadas y coincidentes con las anteriores, en la cara Oeste del edificio.

Luego de la colocación de toda la instrumentación necesaria para garantizar la seguridad del Edificio se iniciaron las excavaciones en forma de talud hasta llegar a las fundaciones del anexo Norte del Edificio, y finalmente se inició la demolición.



Figura V.2.1.3 – Excavación frente al Centro Residencial El Conde.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2005).

Cuando la excavación llegó a la cota de la losa del sótano del Edificio se iniciaron los trabajos de inyección de las columnas de *jet-grouting*, éstas inyecciones se hicieron para consolidar el suelo y facilitar así la excavación de los muros colados en el perímetro del Edificio, antes de ejecutarlas se verificaron que no existieran interferencias con tuberías o fundaciones, luego se comenzaron desde el ala Este del Edificio y en sentido contrario de las agujas del reloj (ver figura V.2.1.4) cuidando la verticalidad de cada columna para evitar futuras interferencias con los muros colados de la estación que se ubicarían detrás de éstas. Las columnas de *jet-grouting* utilizadas tuvieron una resistencia de 10 kg/cm^2 y un diámetro de 0,60 m.

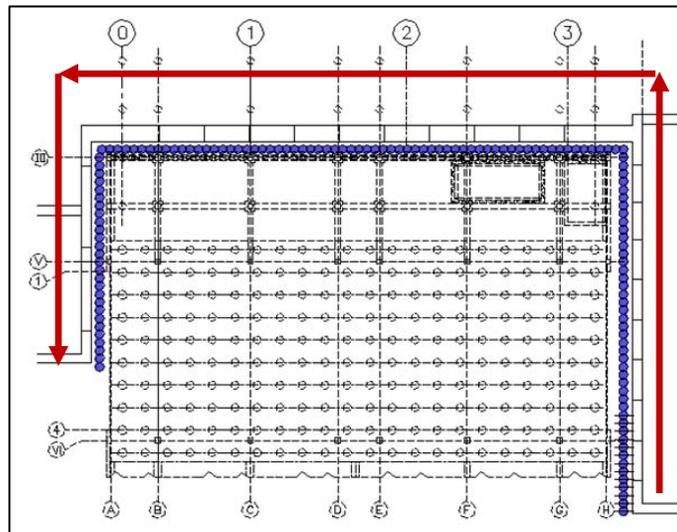


Figura V.2.1.4- Planta de Inyecciones de jet-grouting.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht.

Luego de terminados los trabajos de inyección del jet-grouting se ejecutaron los muros guía y posteriormente los muros colados en el perímetro del Edificio. Luego se continuó la excavación en talud frente al edificio, con constante monitoreo y supervisión de su estructura, se hizo la viga cabezal para arriostrar los muros colados ya ejecutados y así evitar desplazamientos diferenciales entre los mismos; se continuó la excavación y cuando se alcanzó la cota para la segunda etapa de muros colados se hicieron los muros guías, se ejecutaron los muros colados y la viga cabezal.

A medida que avanzaba la excavación se mantuvieron los taludes del lado Norte de la trinchera para generar una presión contraria a la que pudiese generar el Edificio sobre los muros en su perímetro y así ayudar a su estabilidad; se utilizaron 2 niveles de apuntalamiento con 9 puntales, en cada uno los cuales fueron colocados por etapas de excavación del talud de tres en tres, a medida que se colocaban las etapas de puntales se instalaban los tramos de la viga longitudinal en los muros del perímetro del edificio.



*Figura V.2.1.5- Excavación estación Parque Central
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2005).*

Para la excavación en el área en la que se encontraba el túnel construido por el paso previo de la TBM se rellenaron los túneles para evitar una descompensación y una disminución de las presiones contrarias a las del Edificio. Se colocó el segundo nivel de apuntalamiento y se instaló la viga longitudinal al igual que en el paso anterior, luego se continuó la excavación hasta la losa base y se procedió con la metodología constructiva de la estructura interna, retirando los puntales a medida que se construía las paredes y losas de mezzanina y techo

V.2.2. Complejo Parque Central

Los edificios Caroata, Catuche y Tajamar pertenecientes al Complejo Residencial Parque Central poseen 3 niveles de sótanos subterráneos destinados para estacionamiento; las estructuras de contención de estos sótanos están constituidas por un muro tipo Berlín con 3 niveles de anclajes perpendiculares a la Av. Lecuna que se

distribuían uniformemente a lo largo de toda la proyección de la Estación Parque Central, interrumpiendo la mitad de los espacios de mezzanina y andén. Estructuralmente los edificios que conforman el conjunto están apoyados sobre fundaciones directas.

Para realizar la excavación y posterior construcción de la estructura interna de la Estación era necesaria la remoción de los anclajes, pero sin perturbar la estructura existente de los estacionamientos, por lo que debió crearse una nueva contención del terreno que sustituyese los anclajes del muro Berlín.

La solución utilizada fue la construcción de vigas de acero apernadas a las vigas de los sótanos Parque Central y al muro Berlín, evitando así su volcamiento y permitiendo el retiro de los anclajes.

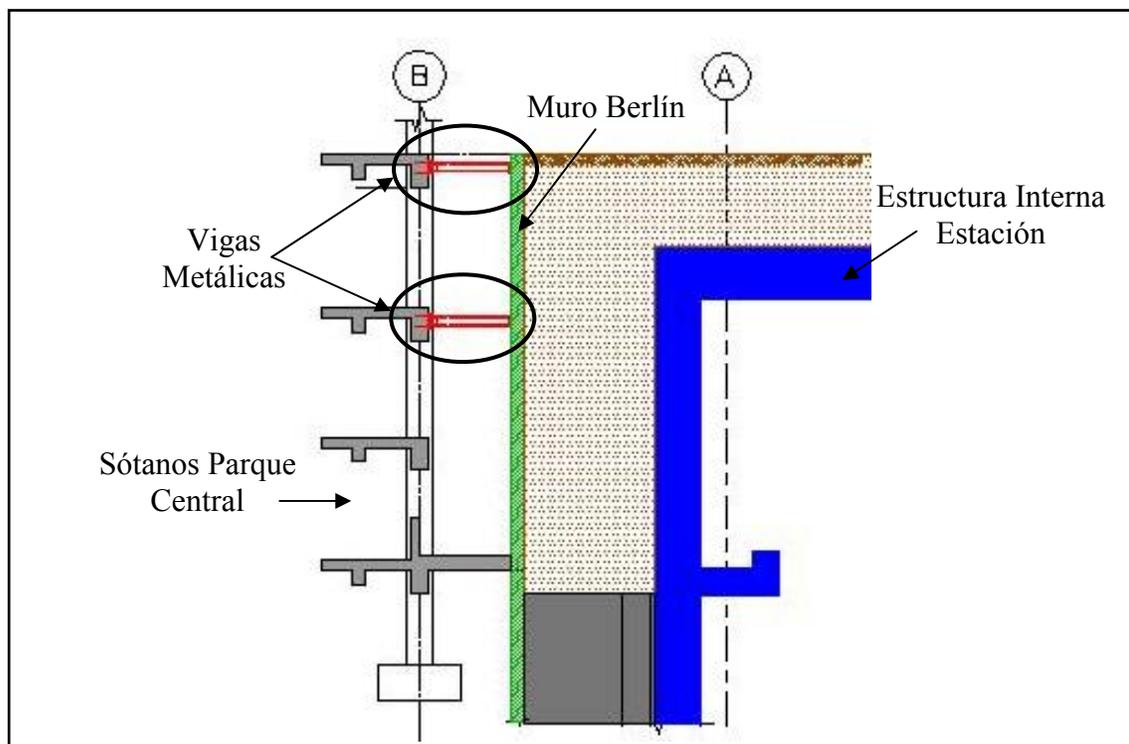


Figura V.2.2.1- Corte en muro Berlín y vigas metálicas
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2005).

V.2.3. Túnel de Línea

Debido a una modificación en el cronograma de obra, se llevó a cabo el paso de la TBM por el interior del cuerpo de la Estación, previo a la construcción de los muros colados que permitieron excavar la trinchera.

El paso de la TBM trajo como consecuencia la construcción de un tramo de túnel dentro del área de la Estación, lo que implicó su posterior demolición, además de esto el área vacía en la sección del túnel descompensaba la estabilidad de la excavación, y no permitió el tráfico de equipos en un capa de suelo menor a los 2,00 m de espesor entre el túnel y la superficie ya que los anillos del túnel no estaban diseñados para resistir este peso adicional, todo este escenario originó una metodología adicional para la excavación de la trinchera.



*Figura 2.3.1 – Demolición del túnel.
Fuente: Destaque 2005 – Gestión de Proyectos.*

La solución tomada fue hacer la excavación por etapas, incluyendo las actividades de demolición y extracción de los anillos del túnel e instalación de dos niveles de apuntalamiento.

Esta excavación fue planteada en forma sectorizada frente al edificio Centro Residencial El Conde y de esta forma se evitó el descompresión del suelo al no tener la protección de los puntales (1er y 2do nivel), se realizó en forma de talud, para tener acceso a la ejecución de los muros del Norte, los cuales se encuentran 8,00 m debajo del nivel original de terreno.

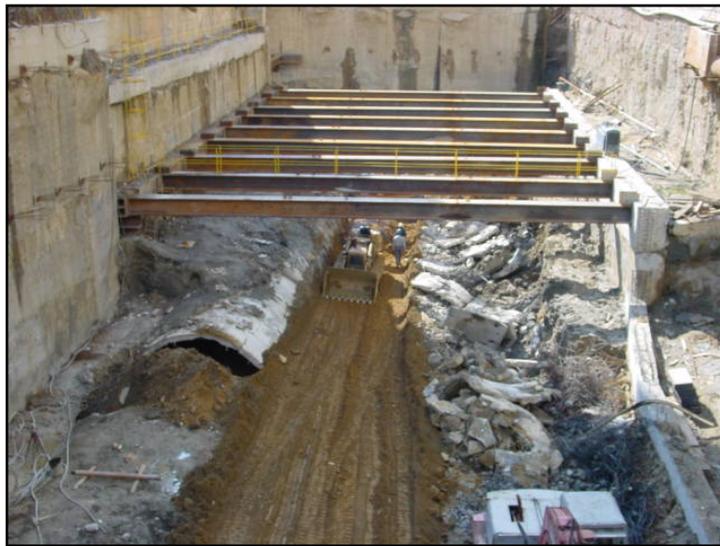


Figura 2.3.2 – *Excavación parcializada en la región del Centro Residencial El Conde.*
Fuente: Destaque Gestión de Proyectos (2005).

El túnel por debajo de la excavación debía rellenarse hasta el segundo nivel de apuntalamiento antes de que la excavación llegase a ese punto, una vez llegada allí se procedió a la demolición parcial de los anillos hasta este nivel. Se hizo la colocación del apuntalamiento y se continuó excavando hasta la cota fondo de la trinchera.

V.2.4. Nivel Freático

La Línea 4 del Metro de Caracas intercepta en su alineamiento múltiples quebradas, por lo que las Estaciones presentan niveles de agua subterráneas muy elevados, que deben ser controlados para poder avanzar los trabajos de excavación y las distintas actividades que involucra el proyecto de sostenimiento de las Estaciones.

Estas mesas de agua tienen una realimentación constante durante todo el año, presentando pequeñas variaciones en la profundidad de ocurrencia, y para los sitios donde ha sido necesario deprimir el nivel freático o minimizar las presiones hidrostáticas, se han tenido que proyectar sistemas de abatimientos efectivos a través de pozos de bombeo o drenes horizontales profundos.

Las soluciones para el tratamiento del nivel freático se lograron a través de un sistema de abatimiento cuyas características se describen a continuación:

- Cota de referencia del nivel de calle = 870,00 msnm
- Cota del nivel freático original = 862,00 msnm
- Cota del fondo de excavación = 852,00 msnm
- Cota del nivel freático abatido en el centro de la Estación = 851,40 msnm

En base a estas condiciones se diseñó un sistema de abatimiento, constituido por 17 pozos distribuidos de la siguiente manera:

- 4 en el portal Este
- 4 en el portal Oeste
- 4 al Norte de la Estación
- 5 al Sur de la Estación

El sistema de abatimiento, en la medida que transcurre su funcionamiento, puede causar gradientes internos en las fundaciones del Edf. Centro Res El Conde, consecuente a la heterogeneidad que presentan los distintos estratos, siendo poco certero predecir su comportamiento, por lo que se consideró prudente incorporar dos pozos de abatimiento junto a dos piezómetros lo más cercano al Edificio, que permitieron:

- Facilitar el control de gradientes de presiones hidrostáticas en las fundaciones del Edificio durante el abatimiento de la Estación y las etapas de excavación, para que el asentamiento que pueda presentarse, debido al incremento de la relación de los espacios vacíos del suelo, sea uniforme en toda su estructura y no cause diferenciales que puedan comprometer su estabilidad.
- Facilitar la verificación de la velocidad y la eficiencia del abatimiento

Cabe destacar, que este par de pozos se pusieron en funcionamiento únicamente por autorización de los consultores y proyectistas, debido a que su función no es la de ayudar a abatir la Estación, sino controlar los posibles gradientes, consecuencia de esta actividad, que se presenten en las fundaciones del Edificio.

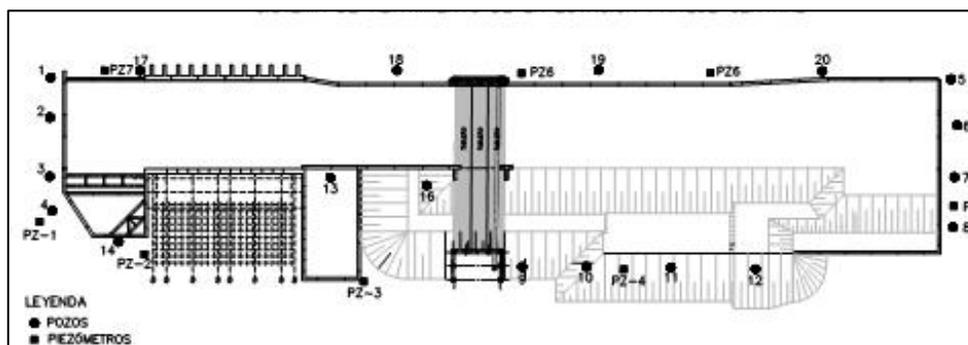


Figura V.2.4.1 – Sistema de abatimiento de la Estación Parque Central.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2004).

V.3.- ESTACIÓN COCHE

V.3.1. Entorno

La extensión de la Línea 3 del Metro de Caracas El Valle-La Rinconada cuenta con una longitud de 5,9 Km y esta conformada por dos túneles, una estación Terminal y tres estaciones intermedias Jardines, Coche y Mercado. El proyecto contempla atender la demanda de movilización de los habitantes de las comunidades vecinas y permitir la conexión de los usuarios del ferrocarril Ezequiel Zamora que viene de los Valles del Tuy con la Región Capital.

La estación Coche se ubica en la Av. Intercomunal El Valle, sus linderos al Oeste las Residencias Venezuela y el Centro Comercial del Mercado Menor de Coche y al Este la autopista Valle-Coche, está en una zona densamente poblada y de intensa actividad comercial.

Para su construcción se utilizó el Método Invertido por haber puesto en funcionamiento una de las líneas para hacer la conexión del ferrocarril Ezequiel Zamora con el sistema de metro, mientras se construía el otro túnel y el resto de la Estación, sin embargo, hubo una mezcla de metodologías por la necesidad de construir dos fosos de extracción de la TBM (Tunnel Boring Machine, por sus siglas en inglés), después de haber realizado los túneles desde la Estación La Rinconada hasta la Estación Coche, estos fosos se ubicaron uno al Norte y otro al Sur del cuerpo de la Estación y fueron ejecutados según el Método Trinchera Abierta.

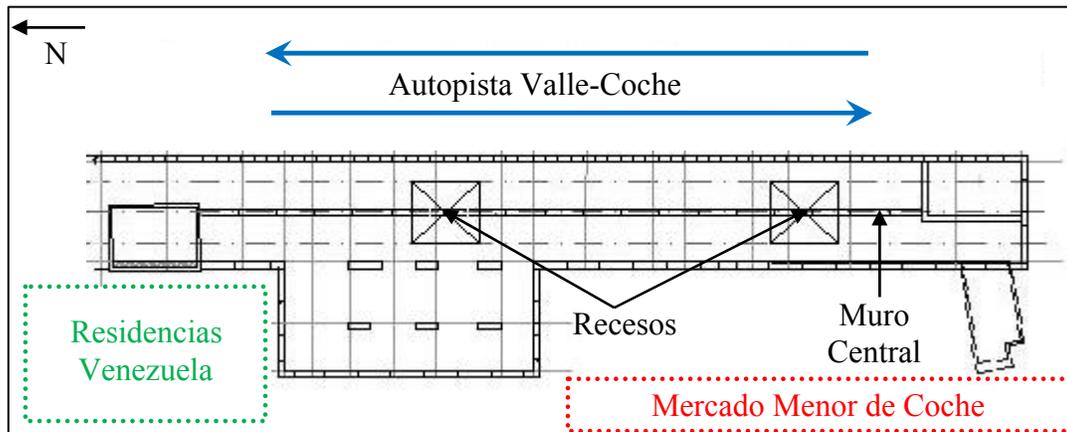


Figura V.3.1.1 – Planta estación Coche

Fuente: Departamento de Ingeniería Línea 3 Odebrecht (2006)

V.3.2. Aspectos Geológicos y Geotécnicos

De las características geológicas se puede mencionar que a lo largo de toda la Línea 3 desde el sector El Valle hasta la ubicación de la trinchera del cambiavía en Coche afloran sedimentos metamorfizados correspondientes a la formación de Las Mercedes. Esta formación está constituida por esquistos grafitosos – calcáreos del período del jurásico, que en el tope presentan más cuarzosas y menos calcáreas.

El subsuelo está conformado por suelos coluvio – aluvionales de composición granulométrica variada (capas de arcilla limosa con un alto porcentaje de finos, capas de arena y presencia de grava). El nivel freático se localiza a unos 12 m de profundidad aproximadamente.

V.3.3. Estructura de la estación Coche

La Estación tiene una longitud de 168 m un ancho de 20,80 m en la sección menor y 40,5 m en la mayor; está conformada por 3 niveles, mezzanina superior, mezzanina y andén, cuenta con dos accesos del nivel calle al interior de la estructura.

Todas las losas fueron macizas de diferentes espesores y empotradas en los muros colados que rodean el perímetro de la Estación y tienen como finalidad contener los empujes del suelo y resistir las cargas transmitidas por las losas; los muros del perímetro tuvieron una longitud variable entre 2,30 y 6,10 m, con un ancho constante de 1,20 m y una profundidad entre los 28 y 30 m; el muro central se realizó con la finalidad de separar la vía en operación, por esta razón su espesor era de 1 m, su longitud mayormente fue de 7 m, en el área entre los ejes 3-9/B-D (**ver anexo N°1**) se ejecutaron 6 barretas de espesor 1,20 m y de longitud variable las cuales se arriostraron por vigas.

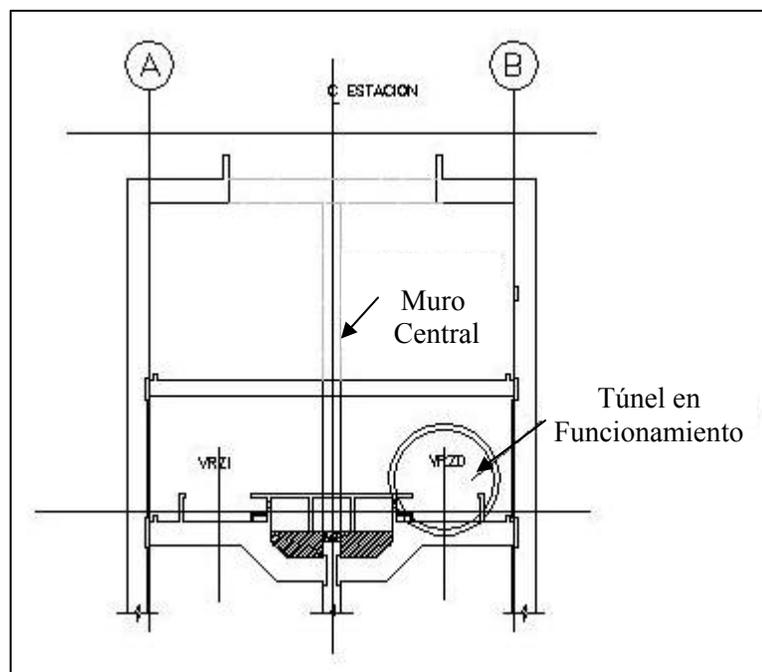


Figura V.3.3.2- Sección transversal de la estación Coche.
Fuente: Departamento de Ingeniería Línea 3 Odebrecht (2006).

V.3.4. Método Constructivo Invertido

1. Expropiación y demolición de inmuebles

Antes de iniciar los trabajos se realizó la deforestación, limpieza y demoliciones pertinentes para habilitar el área designada a la construcción de la Estación, también fue necesario remover el pavimento, aceras, brocales y cunetas que ocupaban el espacio.



*Figura V.3.4.1 – Demolición de inmuebles.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2006).*

2. Reubicación de Servicios Públicos existentes

La Estación por estar ubicada en un área poblada con existencia de un gran número de servicios públicos fue necesario solicitar a las empresas prestatarias la reubicación de todos los servicios que estuvieran interfiriendo en el área destinada para la obra, entre éstos se encuentran: tuberías de acueducto, cloaca, drenaje, gas, electricidad, teléfono y fibra óptica.

Se reubicaron todos los servicios públicos existentes que a juicio del proyectista y con la aprobación de la C.A. Metro de Caracas interferían durante la ejecución de las obras, procurando en lo posible que las reubicaciones proyectadas fueran de

carácter definitivo, a fin de evitar posteriores desvíos en la etapa de post-construcción, utilizando reubicaciones provisionales únicamente cuando se demostrara que era la opción más favorable técnica o económicamente. (*Instructivos de Diseño de la Línea 3 tramo El Valle – La Rinconada. C.A. Metro de Caracas*).

3. Replanteo de la Estación

El personal de topografía se encargó de verificar el alineamiento, las dimensiones, y niveles que se indicaban en los planos del proyecto, también realizó la demarcación del contorno estructural de la estación, la verificación de las cotas, posición de los ejes transversales y longitudinales, pendientes máximas y mínimas.

4. Instrumentación

Por la utilización de pozos de abatimiento y las excavaciones subterráneas cercano a las edificaciones, fue necesario instalar un sistema de instrumentación para monitorearlas ya que podían llegar a producirse asientos que afectaran la estructura.

5. Control del Nivel Freático

Se instalaron en el perímetro de la Estación alrededor de 12 pozos para abatir el nivel freático y poder trabajar sin inconvenientes durante la excavación.

6. Construcción del Foso Norte

El Foso Norte de extracción de la TBM, se ubicó entre el cambiavía y la estación Coche. Sus dimensiones fueron 16,08 m de largo y 10,80 m de ancho, con un área interna de 173,664 m² y una profundidad media de 27 m.

La estructura del foso estaba conformada por paneles 0,60 m de espesor y una longitud variable, tenía una profundidad de 27 m aproximadamente por lo que fue necesario realizar 3 niveles de apuntalamiento para poder avanzar la excavación

desde el nivel superficie hasta el nivel base, finalizado el foso y extraída la TBM se decidió integrar el foso a la Estación por lo que hubo que retirar todos los puntales y demoler los muros conservando sólo la cara que se encontraba en el eje B (**ver anexo N°1**), en la cual se realizaron 5 filas de anclajes para el soporte y sujeción del muro. Posteriormente, se construyó un muro interior de refuerzo, lo que originó que la losa de mezzanina y techo que se encontraba entre el área del cabezal se construyera como el método tradicional de abajo hacia arriba.

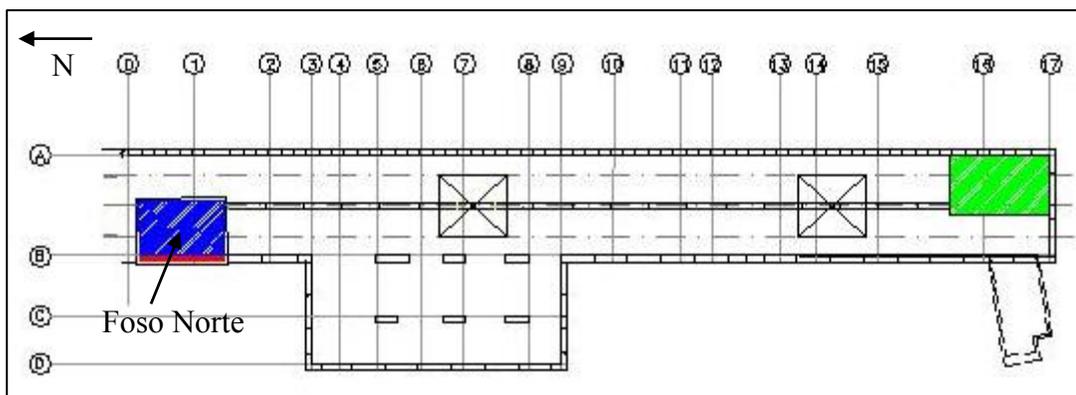


Figura V.3.4.2 – Ubicación de Foso Norte.

Fuente: Departamento de Ingeniería Línea 3 Odebrecht (2006).

Para la ejecución de dicho foso fue necesaria la ejecución de una metodología la cual se explica a continuación:

- Construcción de los muros colados perimetrales del Foso Norte con un espesor de 0,60 m y una profundidad de 27 m en todas sus caras, excepto el perteneciente al lado sur del foso el cual tuvo que ser de 11 m aproximadamente para permitir el paso de la TBM.
- Se ejecutó una viga cabezal a lo largo de todo el perímetro del foso Norte para garantizar la estabilidad de los muros cortos.
- Se perforaron 6 pozos de abatimiento para poder disminuir el nivel freático y ejecutar sin problemas la excavación hasta el nivel base.

- Se excavó progresivamente el foso y se colocaron tres (3) niveles de apuntalamiento, con la función de contrarrestar los empujes de tierra que afectaban la estabilidad de los muros.
- Armado y vaciado de una losa provisional para la salida de la TBM.

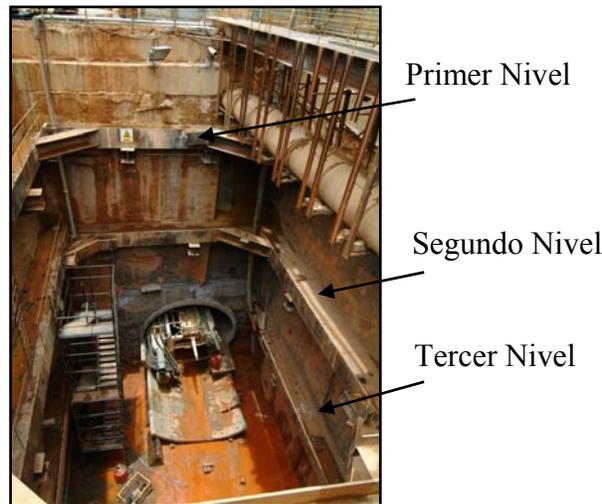


Figura V.3.4.3 – Foso Norte.

Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2006).

7. Ejecución de muros colados en el perímetro de la Estación

Paralelo a la construcción del foso Norte se fueron ejecutando los paneles del perímetro de la estación y un eje central que dividía la vía férrea en funcionamiento, todos los paneles se armaron en dos cuerpos para facilitar la movilización de éstos. La excavación se realizó bajo lodo bentonítico para estabilizar las paredes y evitar su desprendimiento con lo que se perdería la definición del elemento, para realizar el vaciado se realizaba previo la verificación de ciertos valores del lodo como lo son: viscosidad, densidad, Ph y contenido de arena, comprobado esto se instalaba la tubería de vaciado y se iniciaba la actividad, la cual iba siendo monitoreada periódicamente para ir realizando el retiro de los tubos a medida que se iba avanzando.



Figura V.3.4.4 – Colocación de armaduras en muros colados.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2006).



Figura V.3.4.5 – Vaciado del Muro Colado.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2006).

8. Construcción del Foso Sur

Conjuntamente con las construcciones de los paneles del perímetro de la Estación se ejecutó el foso Sur en el cual los muros colados del eje A y eje 17 (**ver anexo N°1**) se realizaron de 1,20 m de espesor para quedar luego formando parte del cuerpo de la Estación.

Para su construcción se estableció la siguiente secuencia:

- Construcción de muros colados en el perímetro.
- Excavación hasta el 0,50 m por debajo de la cota inferior de cada nivel y colocación del apuntalamiento.
- Excavación hasta la cota inferior de la losa provisional para la salida de la TBM.
- Colocación de concreto pobre y armado de losa.
- Vaciado de losa provisional.
- Retiro del cuarto nivel para permitir la salida de la TBM.

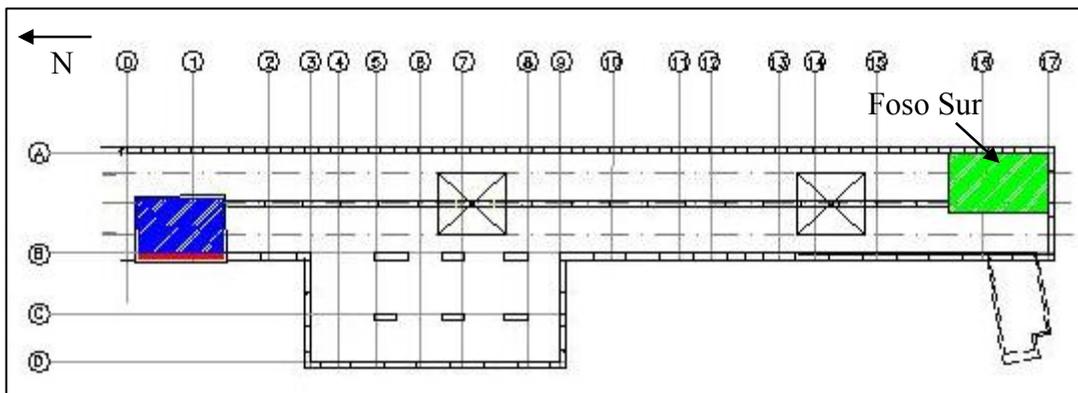


Figura V.3.4.6 – Ubicación de Foso Norte.

Fuente: Departamento de Ingeniería Línea 3 Odebrecht (2006).

9. Excavación Nivel Calle-Techo

Al finalizar la ejecución de los muros colados se inició la excavación Calle-Techo desde el eje 3 y se fue avanzado hasta llegar al eje 17 (**ver anexo N°1**), la diferencia de cotas resultó de 3 m aproximadamente, la movilización del material se realizó con maquinaria pesada que accedía por medio de rampas previstas para tal fin.



Figura V.3.4.7 – Excavación Calle-Techo.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2007)

10. Descabezamiento de muro colado

Cuando se realizó el vaciado de los muros colados bajo el lodo bentonítico existía la posibilidad de que el concreto se contaminara, por esta razón se vació 0,50 m por encima de la cota superior real del mismo, esto origino luego que cuando se realizaba la excavación calle-techo hubiera que demoler para poder empotrar la losa y amarrar ambos elementos.



Figura V.3.4.8 – Descabezamiento de Muro Colado.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2007).

11. Conformación de terreno

Una vez alcanzada la cota inferior de la losa de techo se conformaba el terreno por medio de equipos livianos para lograr una superficie apta y poder colocar las correderas y vaciar el concreto pobre.

12. Vaciado de concreto pobre

Después de conformado el terreno y colocadas las correderas se realiza el vaciado de 0,10 m de concreto pobre para nivelar la superficie y poder garantizar el recubrimiento y la cota inferior de la losa. Posteriormente se colocó un plástico P.V.C que se fijó al concreto para luego colocar los separadores e iniciar el armado, éste plástico tiene como finalidad evitar que el concreto pobre se adhiera al de la losa y pueda ser retirado fácilmente cuando se realizaba la excavación por debajo de la losa.

13. Armado de losa Techo

El armado de la losa de techo se realizó conforme a los planos, respetando espesor de 1,20 m entre los ejes 0-17/A-B y 0,80 m entre los ejes 3-9/B-D, fue necesario colocar *water stop* en las juntas para evitar filtraciones, la losa se armó por tramos de aproximadamente 20 m iniciando desde el eje 0 y avanzando en sentido Norte-Sur hasta llegar al eje 17 (**ver anexo N°1**).

14. Vaciado de losa techo

Después de armada la losa y liberada por el personal de topografía se dio inicio al vaciado, utilizando concreto de resistencia 280 Kg/cm^2 , en vista de que la losa era vaciada por tramo se realizaron cierres con cabillas para obtener una mayor adherencia entre los tramos de losas, durante el vaciado se realizó el correspondiente vibrado.



*Figura V.3.4.9 – Vaciado de la losa techo entre los ejes 3-9/A-D.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2007).*

15. Relleno hasta nivel superficie

Después de ejecutada la losa de techo se realizó el relleno hasta el nivel superficie compactando el terreno hasta alcanzar un porcentaje de compactación del 98%, para lo cual se realizaron pruebas de campo por parte del personal de laboratorio para garantizar una superficie apta que resista las cargas y movimientos que se generarían al restituir por completo la superficie.

16. Excavación Techo-Mezzanina por los recesos

La excavación Techo Mezzanina se inicio por el receso central ubicado entre los ejes 6-8/A-B (**ver anexo N°1**), se avanzó en sentido oeste principalmente para poder ejecutar la losa de mezzanina superior tomando una altura promedio de 4,50 m, luego se extendió hacia el Norte y Sur de la Estación.



Figura V.3.4.10 – Excavación Techo-Mezzanina.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2007).

17. Construcción de losa mezzanina superior

Cuando la excavación se encontraba a 4,50 m de la losa mezzanina superior se conformó el terreno entre los ejes B-D/3-9 (ver anexo N°1) se descubrieron los cajones de los muros y las barretas, se vació el concreto pobre y se inició el armado de la losa y las vigas B y C para finalizar con el vaciado y continuar la excavación hasta la mezzanina.



Figura V.3.4.11 – Nivel Mezzanina Superior.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2007).

18. Descubrimiento de las reservaciones en los muros colados

Después de alcanzar la cota de fondo de la losa mezzanina y conformado el terreno se descubrió las reservaciones de madera previstas en los muros colados para empotrar la losa al muro, los cajones se realizaron 0,20 m más grandes que el espesor de la losa ya que existía la posibilidad que el panel pudiera quedar desfasado en cuanto a su posición original, luego para dar inició al armado de la losa de mezzanina se instalaron las tuberías de drenaje correspondientes y se dejaron las previsiones para los diferentes ambientes o futuras estructuras internas; se coordinaron las actividades con el personal de electromecánica, arquitectura y estructura, para evitar posteriores modificaciones.

19. Vaciado de losa mezzanina

Para realizar el vaciado de la losa mezzanina se verificó la colocación de pases y tuberías, luego de liberada por el personal de topografía se procedió al vaciado el cual era realizado por los recesos con ayuda de una bomba, ésta actividad se ejecutó sólo hasta el eje 15 en una primera etapa por estar interfiriendo el foso Sur, en este nivel al igual que en la losa de techo se dejaron los recesos para realizar la excavación entre mezzanina y base.



Figura V.3.4.12 – Losa Mezzanina.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2007).

20. Excavación Mezzanina-Base

Por estar la línea VRZD (Valle-Rinconada-Zoológico-Derecho) en funcionamiento, la excavación de mezzanina a base se ejecutó en dos etapas, la primera la del lado VRZI (Valle-Rinconada-Zoológico-Izquierdo) y posteriormente el lado VRZD, para la movilización del material fue necesario ampliar el tamaño de los recesos de mezzanina para facilitar la manipulación de los equipos y materiales desde el nivel superficie hasta el nivel base, la actividad se inicio por el receso del extremo Sur y se avanzó en sentido Norte manteniendo una profundidad de 4,00 m. Cuando se logró llegar al eje 1 se comenzó a bajar la excavación hasta la cota de fondo de la losa base y se continuó la actividad desde el eje 1 hasta el eje 15.



*Figura V.3.4.13 – Excavación Mezzanina-Base.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2007).*

21. Descubrimiento de las reservaciones en los muros colados

Al igual que el nivel mezzanina y techo el terreno se conformó el terreno, pero antes del vaciado de concreto pobre se instaló el sistema puesta a tierra que recorre toda la estación, finalizado éste trabajo se colocó una capa de aproximadamente 0,50 m de material drenante por la presencia del nivel freático y se realizó posteriormente el vaciado del concreto pobre. En éste nivel también se dejaron las provisiones de

madera para el empotramiento de la losa por lo que tuvo que descubrirse el cajón para empezar la colocación del acero la cual se inició desde el eje 0 hacia el eje 17 la disposición y colocación de las barras de acero se alineó a la exigencias del proyecto, en este nivel la movilización de los materiales resultó un poco más compleja por la profundidad y la limitación de los recesos, el espesor de la losa base fue de 1,20 m y en las juntas al igual que la losa de techo se utilizó el *water stop*.

22. Colocación de sistema de corrosión

Después de finalizado el armado de la losa se instalaron las pletinas a todo lo largo y a ambos lados de la vía férrea para el control de la corrosión.

23. Vaciado de losa base

La losa de base tiene una geometría particular lo que ameritó la colocación de encofrado para garantizar las dimensiones de las secciones según el proyecto, el vaciado se realizó por medio de bombas posicionadas en el nivel superficie a la cual se instalaron los tramos de tubería necesaria, para cubrir el área de trabajo.

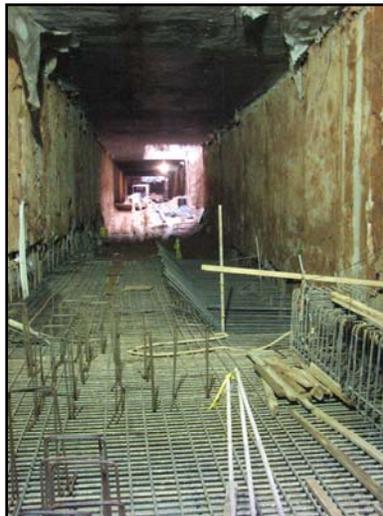


Figura V.3.4.14 – Colocación de acero en losa base.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2007).

24. Construcción de los accesos

La estación tiene dos accesos uno al noroeste y otro al sur de la estación (**ver anexo N°1**), después de ejecutada la losa de techo y mezzanina superior se construyeron permitiendo así la entrada a la estación mucho antes de su culminación.

V.4.- DIFICULTADES EN LA APLICACIÓN DEL MÉTODO

V.4.1. Vía férrea en funcionamiento VRZD

La construcción de la estación Coche representó un gran desafío por estar trabajando con una de las líneas en operación lo cual ameritaba algunas modificaciones o adaptaciones del método original para poder resguardar la vida de los usuarios de la vía férrea y garantizar la continuidad del servicio. Las soluciones tomadas fueron las siguientes:

- Se construyó un muro central divisorio para poder separar la línea en operación del resto de la obra.
- La excavación entre los niveles Techo-Mezzanina se condicionó para evitar que al remover el material que se encontraba sobre el túnel éste pudiera flotar por la presencia del nivel freático y la descompresión del suelo.
- Después de realizada la losa mezzanina se arriostraron los paneles que quedaban en el área de las reservaciones para evitar que se pudiera generar un desplazamiento y comprometer la estructura del túnel.
- La losa base se realizó en dos etapas para lo cual fue necesario que en el muro central se dejara la reservación de madera y poder empotrar cada tramo y lograr que se comportara como un solo elemento.

V.4.2. Construcción de muro central

El muro central era un elemento provisional el cual iba a ser demolido en cuanto avanzara la excavación, sin embargo se extendía a todo lo largo del eje central y su profundidad excedía la cota de fondo de la losa base lo que resultaba un trabajo bastante complicado ya que además de aumentar los costos generaba pérdida de tiempo la ejecución de dicha actividad.

La solución tomada para facilitar la demolición del muro y disminuir los costos fue la de colocar acero sólo entre el nivel Mezzanina-Base soldando unos ganchos que superaban los 12 m para el levantamiento y colocación de la armadura dentro de la zanja y entre los niveles Mezanine-Techo solo se colocó concreto.

V.4.3. Limitación de excavación

La excavación Techo –Mezzanina estuvo influenciada por el nivel freático y el túnel VRZD en operación, el cual por la variación del agua podría generar la flotación de éste, tomando en cuenta que el túnel tenía una longitud de 168 m y la carga vertical que recibía iba a ser desplazada.

La solución tomada fue realizar la excavación en dos etapas, la primera se extendió a todo lo largo de la Estación con una profundidad de 4,50 m por debajo de la losa de techo, luego se permitió bajar 2 m por encima de la cota superior de la losa mezzanina para poder contar con un bloque de suelo lo suficientemente estable que evitara la posible flotación del túnel y la deformación de los muros perimetrales.

Para alcanzar la cota de fondo de la losa mezzanina se realizaron dos fases, la fase 1 consistió en excavar la sección VRZI a todo lo largo de la estación al nivel de la cota

de fondo de la losa mezzanina y la fase 2 permitía excavar solo por tramos de aproximadamente 15 m y vaciar tramos de 10 m de longitud.

La separación mínima entre tramos de excavación simultáneos fue de 30 m. Cuando se realizaban tramos consecutivos debía iniciarse la excavación solo cuando se hubiese alcanzado el 80% de la resistencia del tramo vaciado.

V.4.4. Presencia del nivel freático

La presencia del nivel freático representó un inconveniente para los procesos de excavación, por esta razón se tomaron medidas de control para evitar retrasos o paralización de los trabajos. La solución tomada fue la siguiente:

Para la construcción del Foso Norte se perforaron 6 pozos para abatir el agua y poder realizar la construcción del foso. Se instalaron inclinómetros en las edificaciones cercanas para detectar posibles asentamientos diferenciales.

Para la construcción del Foso Sur se perforaron dos pozos para abatir el agua y poder excavar hasta la cota de fondo de la losa base. Se instalaron inclinómetros en las edificaciones cercanas para detectar posibles asentamientos diferenciales.

Para la construcción de la Estación se colocaron 3 piezómetros para monitorear la fluctuación del agua subterránea, dos estuvieron ubicados paralelos al eje A y un tercero paralelo al eje D.

- Después de las mediciones del nivel freático se decidieron perforar 3 pozos para abatir el agua y poder construir la losa de mezzanina y base.

- Se instalaron puntos de instrumentación a lo largo del túnel VRZD de la Estación para evaluar posibles movimientos.
- Se instalaron inclinómetros en las edificaciones cercanas para detectar posibles asentamientos diferenciales.

V.4.5. Tubería de acueducto de 72” de diámetro

Paralela al eje A de la Estación pasaba una tubería de acueducto de 72” de diámetro lo que impedía la ejecución de los paneles de gran longitud ya que existía el temor de que el lodo bentonítico no fuera suficiente para mantener estable las paredes de la excavación y se generaran derrumbes internos que ocasionaran un posibles asentamientos de la tubería, debilitando las juntas o induciendo a una fisura que pudiera poner en peligro la integridad del acueducto, Todo esto generó una mayor movilización de armaduras, un aumento de tiempo de ejecución y costos de las actividades.

|La solución tomada consistió en disminuir la longitud de los paneles que conformaban el muro del eje A de la Estación de 6,10 m a 2,30 m a fin de evitar excavaciones de gran longitud que pudieran provocar socavamiento del terreno y comprometer la tubería.

V.4.6. Construcción del Foso Sur

El túnel VRZI se inició desde La Rinconada y finalizó en el portal Sur de la estación de Coche, por ésta razón hubo la necesidad de construir un foso para la extracción de la TBM, la existencia de éste dentro de la Estación originó la construcción parcial de las losas techo, mezzanina y base ya que existían cuatro niveles de apuntalamiento que deberían ser retirados y no permitía cerrar por completo el foso. La solución tomada fue la siguiente:

- La losa de techo entre los ejes 15-17 se construyó sólo del lado VRZD dejando el foso abierto.
- Se armó y vació una viga en el perímetro del foso de una longitud de 1,40 m cerrando la reservación del foso, pero dejando suficiente espacio para la extracción de las vigas.
- Alcanzado el 80% de la resistencia de la viga se retiraron el primer y segundo nivel de apuntalamiento.
- Se excavó de techo a mezzanina entre los ejes 15-17 alcanzado el nivel de la cota de fondo, luego se procedió a demoler los muros pertenecientes al foso que no formaban parte de la Estación.
- Se armó y se vació la losa de mezzanina conservando la reservación del foso Sur.
- Después de alcanzado el 80% de la resistencia de la losa mezzanina se retiró el último nivel de apuntalamiento.
- Se inicio la excavación Mezzanina-Base entre los ejes 15-17 y se demolió el muro del foso Sur.
- Se armó y vació la losa base entre los ejes 15-17.

V.4.7. Construcción de Foso Norte

Para cuando nace la idea del foso Norte aún no se había definido la metodología que iba a ser utilizada para la construcción de la estación Coche, por esta razón no se previó realizar dicho foso con el objetivo de pasar luego a formar parte de la Estación sino como una estructural temporal para la salida de la TBM, todo esto conllevó a una serie de dificultades puesto que el sistema de construcción del foso y la Estación resultaron contrarios, generando una combinación de los métodos Trinchera Abierta e Invertido para ejecutar las losas entre los eje 0-3/A-B.

Se presenta la secuencia de pasos para lograr la integración del foso a la Estación.

1. Perforación, inyección y tensado de 5 niveles de anclajes del muro Oeste del foso de extracción.



Figura V.4.7.1 – Perforación de anclajes.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2006).

2. Demolición de la losa base provisional, utilizada para la salida de la TBM.
3. Construcción parcial de la losa base definitiva de la Estación correspondiente al área del foso.
4. Construcción del muro estructural definitivo del Foso (lado Oeste). Éste muro se realizó en dos etapas, la primera correspondió al vaciado desde la losa de base hasta el nivel mezzanina, la segunda etapa se completo el vaciado desde el nivel mezzanina hasta la cota inferior de la losa de techo.



Figura V.4.7.2 – Muro estructural interno.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2006).

5. Para el vaciado de la losa de techo entre los ejes 0-3/A-foso Norte se excavó hasta la cota inferior de la losa de techo, se descabezaron los muros colados perimetrales, se conformó y se vació concreto pobre, mientras que en el área del foso hubo que colocar andamios desde el nivel base hasta la cota inferior de la losa de techo.

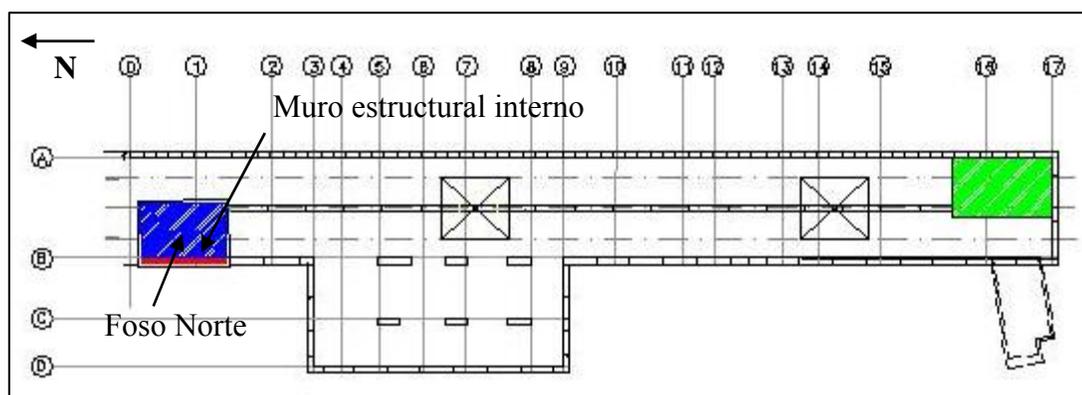


Figura V.4.7.3 – Ubicación de Foso Norte.
Fuente: Departamento de Ingeniería Línea 3 Odebrecht (2006).

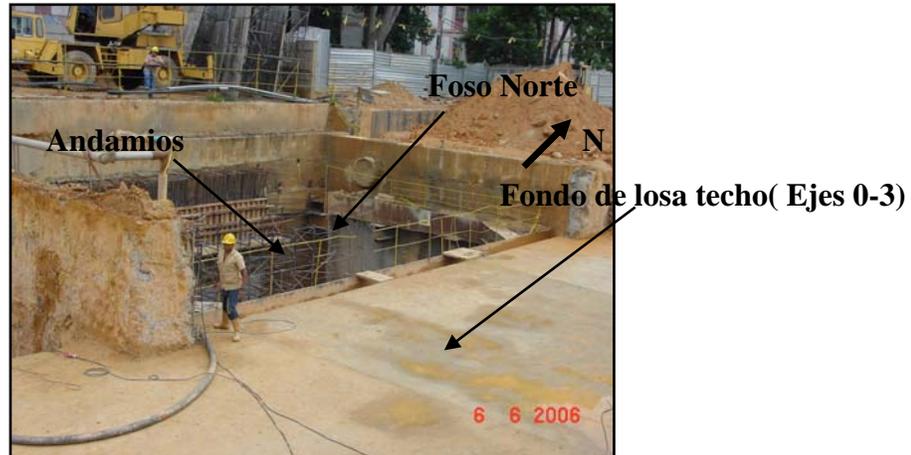


Figura V.4.7.4 – Cota inferior de la losa techo entre ejes 0-3.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2006).

6. Se colocó el acero y se dejaron los recesos para la movilización de equipos y para realizar el retiro de los niveles de apuntalamiento.
7. Se vació la losa techo dejando los arranques en los recesos para su vaciado posterior.
8. Retiro del primer nivel de apuntalamiento, a través de los recesos dejados en la losa de techo.
9. Después de alcanzado el 80% de la resistencia de la losa se inició la excavación Techo–Mezzanina, entre los ejes 0-2/A-Foso Norte, se excavó hasta la cota inferior de la losa mezzanina extrayendo el material por los recesos, desde este lado se demolió el muro Este y Norte hasta la cota de fondo de la mezzanina.
10. En el área del foso se desmontó el nivel de andamios por debajo de la cota inferior de la losa mezzanina.
11. Se colocó el acero y vaciado de losa mezzanina dejando los recesos con sus respectivos arranques al igual que en la losa de techo.
12. Se Retiró de segundo nivel de apuntalamiento, a través de los recesos de mezzanina y techo.
13. Después de alcanzado el 80% de la resistencia de la losa se inició la excavación Mezzanina-Base, entre los ejes 0-1/A-foso Norte se excavó hasta la cota inferior de la

losa base extrayendo el material por los recesos de mezzanina y techo, desde éste lado se demolió el muro Este y Norte hasta la cota de fondo de la losa base.

14. Se desmontó los de andamios.

15. Se retiró el tercer nivel de apuntalamiento.

16. Se vació complemento de la losa base de los ejes 0-1/A-Foso Norte.

17. Cerramiento provisional con fibrocemento entre el nivel Mezzanina-Base para la operación de la vía férrea del túnel VRZD.



Figura V.4.7.5 – Cerramiento provisional.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2006).

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS INVERTIDO Y TRINCHERA ABIERTA

VI.1.- PREPARACIÓN DEL SITIO

La metodología Trinchera Abierta utilizada en la construcción de las Estaciones de la Línea 4, causó el cierre de la Av. Lecuna en varios tramos, al igual que las Estaciones de la extensión de la Línea 3 lo cual ameritó el cierre de la Av. Intercomunal del Valle, ambas importantes arterias viales que provocaron la ejecución de desvíos de tránsito que afectaban notablemente la normal circulación de los habitantes de la zona, por otra parte los trabajos de reubicación de los servicios públicos, expropiaciones y las demoliciones para acondicionar el área, se extendieron por un largo periodo de tiempo retrasando el inicio de las actividades, ya que el trámite de los permisos y la entrega de los planos por parte de las empresas responsables resultó un proceso bastante lento.

VI.2.- IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL

El simple hecho de la construcción de una trinchera de grandes dimensiones en una zona densamente poblada impedía la normal circulación de las personas, afectando de manera considerable la economía de los comercios y negocios cercanos a la obra, así como la vida cotidiana de los habitantes del sector; el ruido, el polvo, las grandes maquinarias y todas aquellas consecuencias que acarrear una obra de esta envergadura afectando notablemente la calidad de vida de los habitantes cercanos a ella, en el caso de Trinchera Abierta cuya metodología implica una excavación a cielo abierto hacen más palpables estas consecuencias convirtiéndola en una metodología más invasiva en comparación con el Método Invertido que al permitir ejecutar la losa de techo en su fase inicial representa una barrera de sonido y para la expansión de partículas de polvo reduciendo el tiempo de afectación a los habitantes de la zona.

VI.3.- EXCAVACIÓN

La excavación en la trinchera abierta es una actividad con alto rendimiento, ya que a través del sistema de rampas los camiones de carga pueden transportar más eficientemente el material extraído y facilitar la entrada y salida de las maquinarias de excavación, permitiendo la rápida reposición de alguna de ellas en caso de ser necesario.

La excavación puede hacerse parcializada lo que permite tener varios frentes de trabajo y aumentar el avance, pueden hacerse dos rampas en los extremos de la trinchera y de esta manera crear dos frentes de trabajo, sin embargo, esto está condicionado a los espacios disponibles alrededor del área a excavar. Las rampas y taludes necesitan un área de desarrollo para lograr pendientes, en las cuales las maquinarias puedan maniobrar y es precisamente el espacio lo que es difícil conseguir en los lugares donde se desea una estación de metro.

Con el Método Invertido resulta más compleja la actividad porque aun cuando en la primera etapa de excavación entre los niveles calle y techo se realiza con las mismas ventajas del método trinchera abierta, a medida que se avanza del nivel techo a base solo se puede realizar la extracción del material por los recesos que se dejaron en las losas, limitando de esta forma el avance, los frentes de trabajo, la movilización del material y la descarga y bote del mismo.

VI.4.- COLOCACIÓN DE ENCOFRADOS

Los encofrados en la metodología trinchera abierta representan una gran importancia ya que la mayoría de los elementos que la constituyen necesitan ser encofrados representando una demanda de mano de obra en particular y un tiempo de ejecución que alarga la construcción de la estación, mientras que el Método Invertido requiere solo de encofrados para realizar los muros de las escaleras y en el cierre de los recesos por

ejecutarse como losa soportada. El encofrado debe ser calculado y hecho con materiales resistentes ya que los empujes generados en los vaciados pueden provocar que si no están bien colocados se abran causando accidentes y cuantiosas pérdidas de dinero.

En Trinchera Abierta la losa de mezzanina y techo son soportadas y las alturas de sus entresijos son superiores a los de 5 m lo que hace esta actividad compleja y que deba hacerse con extrema precaución, ya que debe garantizarse que los niveles de andamios estructurales resista el vaciado y posterior fraguado del concreto, por otra parte el desmonte de los andamios y el acopio del material es una actividad que amerita una inversión de tiempo y costo adicional que el Método Invertido en el cual es limitado el uso de encofrados.

VI.5.- ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN

La trinchera abierta desvincula las estructuras de contención de la estructura interna de la estación, esto permite que la contención pueda hacerse de muchas maneras según el contexto en el cual se encuentre, es decir, en el caso de que se encuentren edificaciones con fundaciones profundas, sótanos o cualquier otra interferencia, la estructura podrá ser apuntalada dentro de la estación, de manera de no intervenir, este apuntalamiento podrá hacerse a través de vigas prefabricadas que sirvan además de soporte para las losas mezzanina y techo. En el caso contrario en el que no exista interferencias subterráneas podrán usarse anclajes a varios niveles para evitar el desplazamiento de los muros.

En el Método Invertido no existe la posibilidad de que los muros colados puedan ser remplazados por otros elementos ya que además de cumplir con la función de contener el empuje de tierra deben formar parte de la estructura interna de la Estación, lo cual amerita que sean elemento de un mayor espesor con una cantidad de acero y concreto elevada, al ser estos elementos vaciado contra el terreno natural se requiere de un trabajo

adicional para generar un buen acabado a diferencia de Trinchera Abierta donde la estructura interna está constituida por paredes estructurales que tiene un acabado de obra limpia dejando una mejor superficie.

VI.6.- VENTILACIÓN E ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

El Método Invertido requiere de iluminación artificial durante todo el día ya que la losa de techo impide el paso de luz natural y los recesos no son lo suficientemente grandes como para iluminar toda la Estación y en caso de que el material de excavación sea muy suelto debe instalarse equipos de ventilación para poder trabajar, a diferencia del Método Trinchera que al ser excavado a cielo abierto permite mantener la ventilación e iluminación natural durante la excavación, lo cual representa un ahorro en el presupuesto.

Por otra parte al tener la trinchera expuesta a las condiciones ambientales limita los trabajos durante períodos de lluvia y disminuye el rendimiento de los obreros por el calor del día, mientras que en el Método Invertido por tener la losa de techo ejecutada minimiza el paso del agua y proporciona un ambiente mas adecuado.

VI.7.- PRESENCIA DEL NIVEL FREÁTICO

Como se trabaja en obras subterráneas existe la posibilidad de que el avance de la excavación se vea influenciado por la presencia del nivel freático, es por ello que se instalan pozos en el perímetro de la Estación para abatir el agua y poder remover el material sin mayores inconvenientes, en el Método Trinchera Abierta por realizarse la excavación más rápido que en el Método Invertido se requiere de la instalación de mayores pozos porque el tiempo de abatiendo es mucho mas corto.

VI.8.- INSTALACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

La mayoría de las Estaciones se construyen con edificaciones cercanas cuyas fundaciones pueden verse afectadas por la movilización de material que debe removerse cuando se excava la trinchera, es por ello que se instalan puntos de control para resguardar la estructuras de asentamientos diferencias que puedan comprometer la edificación.

VI.9.- CANTIDAD DE ACERO Y CONCRETO

Para la ejecución de estaciones de Metro se requiere de una gran cantidad de materiales de construcción por la magnitud de las obras, representando el acero y concreto el mayor porcentaje de utilización, ya que en su mayoría son estructuras de concreto armado, por esta razón se realizó una recolección de las cantidades utilizadas en la Línea 3 y Línea 4 del Metro de Caracas con el objeto de verificar cual método tiene mayor consumo.

Se tomó una muestra de cuatro estaciones por el Método Trinchera Abierta de la línea 4 del Metro de Caracas (Zona Rental, Parque Central, Nuevo Circo y Teatros) y tres estaciones por el Método Invertido de la extensión de la Línea 3 (Jardines, Coche y Mercado) en las cuales se cálculo las cantidades de concreto y acero utilizadas en cada una para la ejecución de las losas, vigas y muros que las conforman, posteriormente se verificaron por metro cuadrado de construcción, arrojando que los valores en el Método Invertido exceden el 40% aproximadamente a los del Método Trinchera Abierta lo cual incide notablemente en el costo de las Estaciones.

A continuación se muestran en las tablas VII.7.1 y VII.7.2 las cantidades totales de acero $f_y = 4.200 \text{ Kg/cm}^2$ y cantidades de concreto de resistencia a los 28 días de 280 Kg/cm^2 , utilizados en la construcción de las estaciones de la Línea 4 y la extensión de la Línea 3:

**Resumen de cantidades de concreto y acero
en las Estaciones de la Línea 3**

Cantidades de obra			
Estaciones	Concreto (m³)	Acero de Refuerzo (Ton)	Área de construcción (m²)
Jardines	28.069,70	3.031,58	8.626,23
Coche	35.064,69	4.377,49	9.994,44
Mercado	30.084,47	3.582,47	8.999,83

Tabla VI.9.1-Resumen de Cantidades de Obra Línea 3.

Fuente: Departamento de Planificación Constructora Odebrecht (2007)

**Resumen de cantidades de concreto y acero
en las Estaciones de la Línea 4**

Resumen de cantidades de obra			
Estaciones	Concreto (m3)	Acero de Refuerzo (Ton)	Área de construcción (m2)
Zona Rental	25.537,82	3.849,12	15.787,80
Parque Central	16.076,63	2.189,40	9.722,14
Nuevo Circo	21.899,56	2.183,32	11.864,31
Teatros	18.922,55	2.331,34	10.392,36

Tabla VI.9.2-Resumen de Cantidades de Obra Línea 4.

Fuente: Departamento de Planificación Constructora Odebrecht (2007)

Se presentan a continuación las relaciones de concreto y acero por metro cuadrado de construcción en las estaciones de las Líneas 3 y 4:

Relaciones de concreto y acero por m² de Estación Línea 4

Estaciones	Relación de concreto por m ² de construcción	Relación de acero por m ² de construcción
Zona Rental	1,62	0,24
Parque Central	1,65	0,23
Nuevo Circo	1,85	0,18
Teatros	1,82	0,22
Promedio	1,74	0,22

Tabla VI.9.3- Relaciones de Concreto y acero por m² de estación.

Fuente: Elaboración Propia

Relaciones de Concreto y acero por m² de Estación Línea 3

Estaciones	Relación de concreto por m ² de construcción	Relación de acero por m ² de construcción
Jardines	3,25	0,35
Coche	3,51	0,44
Mercado	3,34	0,40
Promedio	3,37	0,40

Tabla VI.9.4- Relaciones de Concreto y acero por m² de estación.

Fuente: Elaboración Propia.

VI.10.- TIEMPO DE EJECUCIÓN

Desde el punto de vista estructural los métodos constructivos poseen diferencias bien marcadas que traen ventajas y desventajas sobre los tiempos de ejecución de una Estación de Metro. En el Método Invertido la estructura de contención forma parte de la estructura definitiva de la Estación lo que elimina las paredes estructurales utilizadas en el Método Trinchera Abierta y junto a ellas las actividades de encofrado, armado y vaciado que retrasan el avance de la obra, por otra parte la secuencia ejecutiva es desarrollada de arriba hacia abajo permitiendo que las losas cumpla la función de apuntalar y arriostrar los muros colados eliminando de esta forma el tiempo de ejecución de los anclaje y puntales utilizados en el Método de Trinchera Abierta.

El desarrollo del Método Invertido permite dejar los niveles superiores libres para realizar los acabados mientras se ejecuta la excavación en los niveles inferiores. Por otra parte el Método Trinchera Abierta es desarrollado de abajo hacia arriba lo que condiciona el inicio de la construcción de la estructura interna por la culminación de la excavación.

CONCLUSIONES

Luego de establecer las ventajas y desventajas de ambos métodos, se llegó a la conclusión de que el método Invertido resulta más beneficioso para la construcción de una Estación de Metro subterránea en una ciudad densamente poblada, ya que permite la restitución de superficie más rápido que el Método Trinchera Abierta, disminuyendo así la afectación de la calidad de vida de los habitantes cercanos a la obra, pudiéndose entregar en menor tiempo los espacios públicos, calles y avenidas que fueron intervenidos por la construcción de la Estación.

Por otra parte aunque la excavación en el Método Invertido está limitada por los recesos, el hecho de poder hacer varias actividades en paralelo y tener los muros colados como parte de la estructura interna lo hacen un método más eficaz y práctico para la construcción de las estaciones. La Trinchera Abierta aunque es un método muy eficiente en la excavación, amerita la ejecución de una estructura interna independiente del sistema de contención, lo que requiere de actividades de encofrado y vaciado que consumen tiempo y mano de obra adicional.

El Método de Trinchera Abierta, puede ser ampliamente utilizado en lugares despejados (Ejemplo: estación La Rinconada), en donde no se amerite el cierre de avenidas o no existan comunidades cercanas al perímetro de la estación que puedan verse afectadas por la prolongada exposición a las molestias que se pueden generar al tener por mucho tiempo la trinchera abierta. La gran variedad de estructuras de contención lo hacen un método versátil, brindando la posibilidad de utilizar taludes en lugar de muros colados en el caso que se disponga de espacio suficiente, reduciendo notablemente los costos de la obra.

Del contraste se observó que existen diferencias bien marcadas entre los dos Métodos, presentando al Método Invertido una mejor opción si se tiene limitación del tiempo, ya que dicha metodología no requiere de un alto nivel de detalle para su ejecución,

lo cual permite realizar los trabajos en un menor tiempo, a diferencia de Trinchera Abierta donde la secuencia constructiva obliga la colocación de anclajes y puntales para la el soporte y sujeción de los muros colados.

De las experiencias obtenidas en la construcción de las estaciones Parque Central y Coche del Metro de Caracas, se verificó que las dificultades presentadas en ambos casos se debieron al entorno en el que se desarrollaron y no a fallas inherentes a los métodos. En el caso de la estación Parque Central la presencia de grandes edificaciones como el Centro Residencial El Conde y el Complejo Parque Central, además del paso previo de la TBM y a la influencia del nivel freático, fueron eventos externos que complicaron la metodología aplicada; Por otra parte en la estación Coche la activación de la línea VRZD y la construcción previa de dos fosos para la extracción de la TBM, ocasionaron dificultades que condicionaron la metodología original. Debido a estas modificaciones tan particulares no se pudieron detectar fallas en los métodos, sin embargo se recopilaron las soluciones tomadas para futuras referencias.

La escogencia de estos dos métodos va a depender de decisiones de diversa índole, los entes gubernamentales que son los que generalmente realizan estos proyectos deben decidir si el costo es la medida más importante para la toma de ésta dedición, o si por el contrario la menor afectación a las comunidades es lo que debe determina al método.

Por ultimo, se puede concluir que las estaciones Coche y Parque Central no se tomaron como un patrón de referencia real, ya que por condiciones del entorno realizaron modificaciones y adaptaciones a los métodos que influyeron notablemente en el tiempo de ejecución y costo de la Estación.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio de costo para evaluar cuál de las dos metodologías sin modificaciones o adaptaciones de los métodos resulta más económicas.
2. Estudiar la posibilidad de combinar las dos metodologías a fin de conseguir innovar un nuevo método que pudiera generar mayores ventajas que los estudiados o representar otra alternativa viable.
3. Realizar un estudio enfocado únicamente en la búsqueda o recolección de dificultades presentadas en las construcciones de las estaciones con ambas metodologías y las soluciones aplicadas o sugerencias.
4. Considerar utilizar el Método Invertido en zonas densamente pobladas por ser el que genera menor impacto en las comunidades vecinas en relación con tiempo que dura la restitución de la superficie.
5. Considerar utilizar el Método Trinchera Abierta en zonas poco pobladas, donde la interferencia del área no perturbe a las comunidades.
6. Es aconsejable utilizar la Vitro-resina para la ejecución de los paneles de los portales de la estación por ser un material liviano y de mayor facilidad a la hora de remover, en comparación con el concreto armado o columnas de jet grouting.
7. Si el nivel freático es muy elevado deben activarse pozos de abatimiento desde el inicio de las actividades para evitar paralización o retrasos en los trabajos cuando se alcance la cota del agua.
8. Se recomienda no colocar la cerámica de acabado directamente sobre las paredes de la trinchera, ya que a través de éstas se producen filtraciones que a la larga causan el despegue y deterioro de estos materiales

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

1. Arias, F. (1.997) El Proyecto de Investigación. Caracas; Editorial Episteme.
2. Sampieri, R. (1.998) Metodología de la Investigación. México D.T.; Editorial McGraw Hill.
3. Jiménez, J. Geología y Cimientos. Madrid; Editorial Rueda.

Documentos y reportes técnicos:

1. C.A. Metro de Caracas. (2.002). Instructivos de Diseño de la Línea 3 tramo El Valle – La Rinconada I, II y III. Caracas.
2. C.A. Metro de Caracas. (2.002). Especificaciones generales y particulares de la Línea 3 tramo El Valle – La Rinconada.. Caracas.
3. Odebrecht S.A. (2.002). Memoria descriptiva y cronograma de trabajo original y modificado de la Línea 3 tramo El Valle – La Rinconada. Caracas.

Fuentes electrónicas:

1. www.cimentacionesespecialesvalencia.com
2. www.metrodecaracas.com.ve
3. http://es.wikipedia.org/wiki/Estructura_de_contenci%C3%B3n
4. http://es.wikipedia.org/wiki/Muro_pantalla

GLOSARIO DE TÉRMINOS

TBM: Es la maquinaria utilizada para perforar los túneles gemelos de la línea de un sistema metro.

Sistema de puesta a tierra: Consiste en una combinación de electrodos verticales y conductores, formando un lazo cerrado y totalmente enterrado; dicho lazo tiene como función proporcionar protección a las personas contra choques eléctricos y permitir una rápida actuación de los interruptores en el momento de un cortocircuito a tierra.

Sistema de control de corrosión: Este sistema está constituido por todas aquellas previsiones cuya función es la de reducir la corrosión debida a las corrientes de fuga. Tales previsiones buscan mantener la continuidad eléctrica de la estructura a nivel de las vías, e incluyen puntos para su conexión a la malla de tierra y estaciones de medición.

Cambiavías: Es el tramo o sector de una línea de ferrocarril que permite el cambio de una vía a otra.

VRZD: Valle Rinconada Zoológico Derecha.

VRZD: Valle Rinconada Zoológico Izquierda.

Foso de extracción: Excavación realizada en el subsuelo con el fin de poder sacar la maquinaria encargada de ejecutar los túneles en una vía férrea de metro.

Levantamiento topográfico: Conjunto de mediciones realizadas con la finalidad de determinar cual es el perfil exterior y la forma de una superficie de terreno.

Perfil litológico: Es un dibujo realizado de una sección específica de suelo donde se indica su composición y características geológicas.

Water stop: Cinta de PVC diseñada para ser utilizada en cualquier estructura de hormigón que contenga uniones y que esté sujeta a filtraciones de agua o presión hidrostática.

Piezómetro: Pozo de observación en el cual se puede medir el nivel freático.

Inclinómetro: Los inclinómetros son utilizados para controlar movimientos laterales en terraplenes y en áreas de derrumbe, flexiones en muros de contención y pilares y deformaciones de las paredes de una excavación, túneles y pozos.

Junta Fría: Una discontinuidad resultante de una demora en la colocación del concreto, que impide una unión del material en dos vaciados sucesivos.

Tolva: Se denomina tolva a un dispositivo destinado a depósito y canalización de materiales granulares o pulverulentos.

Replanteo: El Replanteo es el proceso Inverso a la Toma de Datos, consiste en plasmar en el terreno detalles representados en planos.

Panel: Cuerpo de concreto armado que constituye el muro colado.

Abatimiento: Es la distancia que baja el nivel del agua debido a la constante extracción de agua.

Gàlibo: Es el contorno de referencia con las alteraciones que corresponde considerar para determinadas circunstancias, al cual deben adecuarse las instalaciones fijas y el material

rodante para posibilitar la circulación de los vehículos sin interferencia.

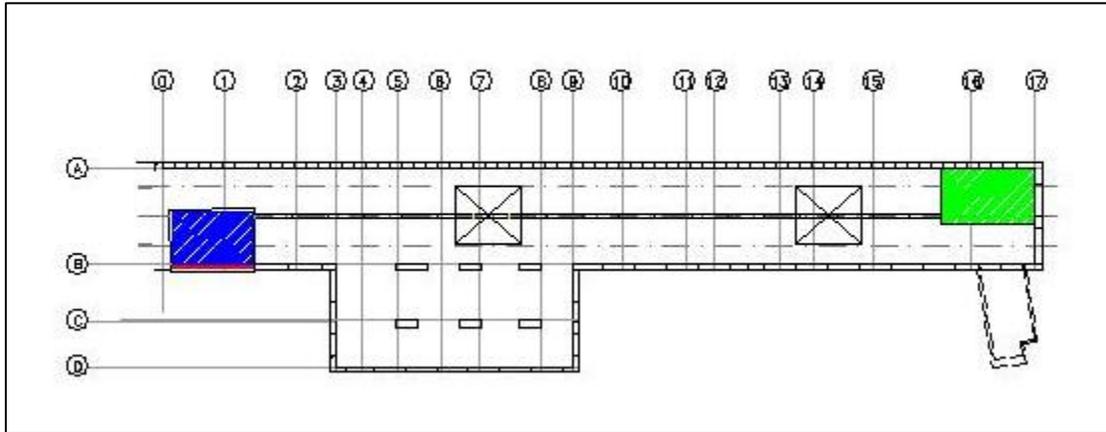
SPT: El ensayo de penetración estándar o SPT (del [inglés](#) *standard penetration test*), es un tipo de [prueba de penetración dinámica](#), empleada para ensayar terrenos en los que queremos realizar un [reconocimiento geotécnico](#).

Tremie: Tubería de acero utilizada para vaciar en presencia de un fluido.

Aluvial: relativo a los sedimentos que se acumulan como consecuencia de la circulación de agua; son arrastrados por la corriente y depositados en otros sitios; como suelo aluvial, fango, acumulaciones o sedimentos.

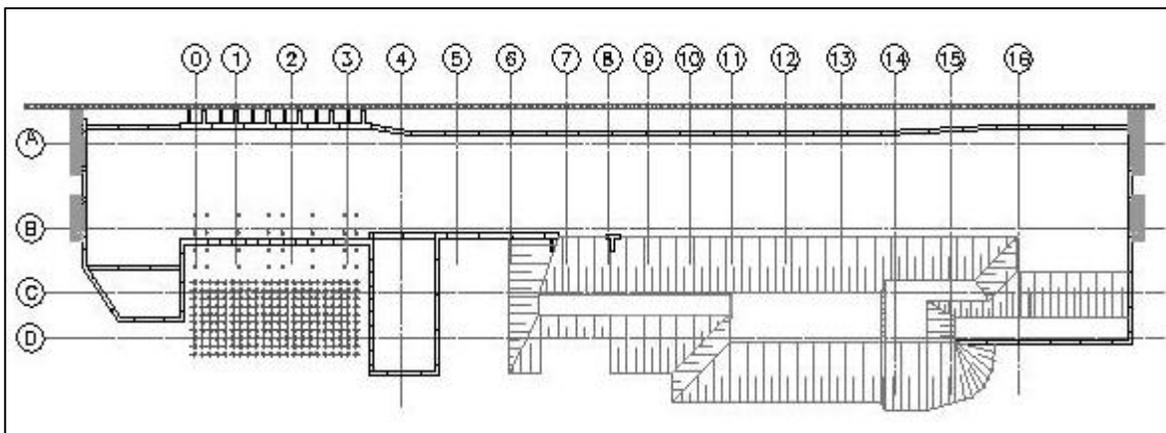
Litología: Es la parte de la [geología](#) que trata de las rocas, especialmente de su [tamaño de grano](#), del tamaño de las partículas y de sus características [físicas](#) y [químicas](#).

ANEXOS



Anexo 1 – Planta estación Coche.

Fuente: Departamento de Ingeniería Línea 3 Odebrecht (2006).

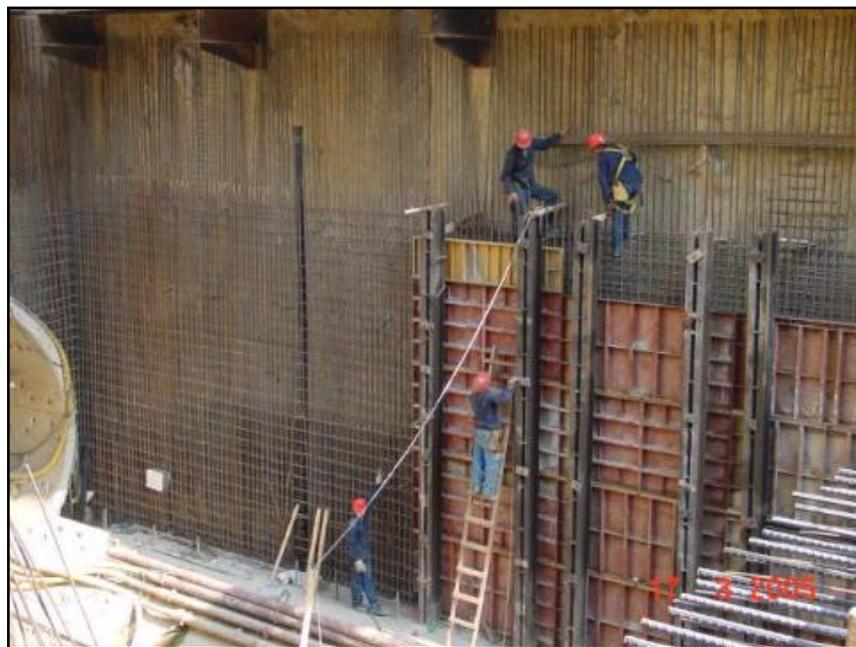


Anexo 2 – Planta estación Parque Central.

Fuente: Departamento de Ingeniería Línea 4 Odebrecht (2004).



*Anexo 3 – Excavación frente a la Estación Parque Central.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2004).*



*Anexo 4 – Armado y encofrado de las paredes de la estructura interna de la Estación Parque Central.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2005).*



*Anexo 5 – Vigas para vaciado de losa techo en la Estación Parque Central.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2005).*



*Anexo 6 – Vigas para vaciado de losa techo en la Estación Parque Central.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2005).*



*Anexo 7 – losa Nivel Techo entre ejes 0-3/A-B(Estación Coche).
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2006).*



*Anexo 8 – Extracción de material desde el nivel techo (Estación Coche).
Fuente: Fuente propia(2007).*



*Anexo 9 – Extracción de la Cabeza de corte de la TBM.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2005).*



*Anexo 10 – Sección Mezzanina-Base Estación Coche.
Fuente: Cortesía Constructora Odebrecht (2006).*

CÁCULOS TIPOS

Cálculo de acero y concreto requerido por metro cuadrado de construcción::

Estación Jardines:

Concreto: 28069.70 m³

Área de construcción: 8626,23 m²

Metros cúbicos de concreto por metro cuadrado de construcción:

$$28069 \text{ m}^3 / 8626,23 \text{ m}^2 = 3.5 \text{ metros cúbicos por metro cuadrado de construcción}$$

Los valores obtenidos en las Estaciones Coche y Mercado son:

Coche: 3,51 metros cúbicos por metro cuadrado de construcción

Mercado: 3.34 metros cúbicos por metro cuadrado de construcción

Sacando un promedio entre las tres estaciones se obtuvo que se requieren alrededor de 3,37 metros cúbicos de concreto por metro cuadrado de la Estación..

Promedio: $(3,5 + 3,51 + 3,34) / 3 = 3,37$ metros cúbicos por metro cuadrado de construcción

Estación Jardines:

Acero: 3031,58 Ton

Área de construcción: 8626,23 m²

Toneladas de acero por metro cuadrado de construcción:

$$3031,58 \text{ Ton} / 8626,23\text{m}^2 = 0,35 \text{ toneladas por metro cuadrado de construcción}$$

Los valores obtenidos en las Estaciones Coche y Mercado son:

Coche: 0,44 Toneladas por metro cuadrado de construcción

Mercado: 0,40 Toneladas por metro cuadrado de construcción

Sacando un promedio entre las tres estaciones se obtuvo que se requieren alrededor de 0,40 toneladas de acero por metro cuadrado de la Estación..

Promedio: $(0,35 + 0,44 + 0,40)/3 = 0,40$ Toneladas por metro cuadrado de construcción