

Estaciones subterráneas urbanas construidas con método invertido

Subway's stations constructed by the inverted method

Gianfranco Perri

Ingeniero Consultor y Profesor de Proyectos de Túneles en la Universidad Central de Venezuela

Resumen

En Venezuela se han proyectado y construido numerosas estaciones subterráneas de sistemas masivos de transporte urbano siguiendo un procedimiento constructivo denominado Método Invertido mediante el cual, primero se construyen desde la superficie los muros perimetrales y las eventuales columnas de la estación, luego se construye el techo y sucesivamente, desde el subterráneo, se excava y se construyen las losas de mezanine y de fondo estación y finalmente las demás estructuras complementarias. Con tal manera de proceder se libera rápidamente la superficie al tránsito y a las demás actividades pero, se deben enfrentar y resolver delicados aspectos del diseño y de la construcción, ya que en muchas ocasiones las etapas temporales y transitorias del procedimiento constructivo seguido representan las condiciones estructuralmente más críticas y exigidas.

Abstract

Numerous subway stations have been designed and constructed in Venezuela with a construction procedure known as Inverted Method. The construction sequence starts by building, from the ground surface, the perimeter walls and (when exists) support columns for the station. The station's roof is then constructed, and from the inside of the structure, excavation continues and the mezzanine, railway levels and other complementary structures are then successively constructed. This construction sequence minimizes the transit obstruction and other activities above the station, but it introduces delicate design and construction challenges. In fact, for example, in many situations the temporary construction configurations represent the most critical loading conditions for the station's structure.

1 INTRODUCCIÓN

Por “*Construcción con Método Invertido*” para una estación subterránea de transporte masivo, se refiere aquel procedimiento constructivo según el cual los muros perimetrales y demás elementos estructurales portantes principales (columnas) de la estación, se ejecutan todos desde la superficie en la primera etapa de la construcción. Luego, la segunda etapa constructiva prevé la construcción del techo de la estación y sucesivamente se procede, desde el subterráneo, a excavar y construir todas las demás estructuras internas, esencialmente las losas de mezanine y de andén y/o losa de fondo, junto con todos los otros elementos estructurales accesorios, como escaleras, pasillos de comunicación, etc.

Con tal procedimiento constructivo se libera el área de superficie al tránsito y demás actividades en tiempos muy breves, ya que la mayor parte de las etapas constructivas de la estación se llevan finalmente a cabo desde el subterráneo.

Este método constructivo sin embargo, además de caracterizarse por una gran cantidad de implicaciones sea técnicas y sea tecnológicas directamente relacionadas con las secuencias constructivas, requiere de una especial elaboración de proyecto, la cual parte de la previa adaptación arquitectónica y funcional de la estación al concepto del ciertamente limitante método constructivo invertido, y continúa con la modelación numérica integral y de detalle, simulando con aquella cada fase constructiva para

permitir el análisis y luego el diseño estructural de todos los elementos, bien sea para condiciones de trabajo de servicio (las de largo plazo) cuando la estructura esté completada, y bien sea para las condiciones de trabajo temporales cuando la estructura esté aún incompleta.

de la misma estación, las complicaciones constructivas y en consecuencia del análisis y del diseño estructural aumentan aún más, debido a las interacciones adicionales entre exigencias constructivas, exigencias estructurales y exigencias operacionales.

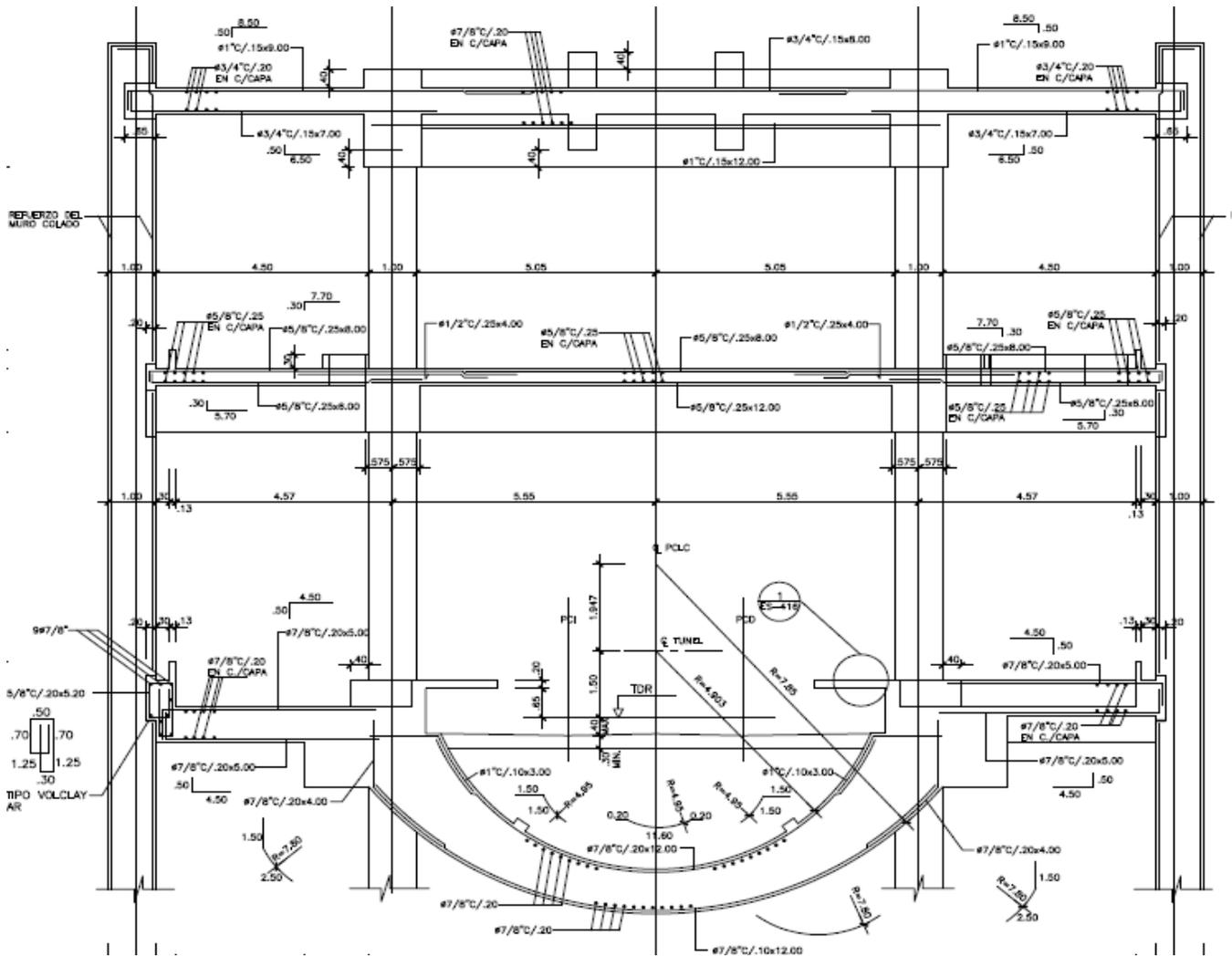


Figura 1 Típica sección transversal de una Estación del Metro de Valencia

Inclusive, en la mayor parte de los casos, las condiciones de trabajo temporales son las más exigentes desde el punto de vista estructural y las mismas obligan a la elaboración de análisis sucesivos para la verificación de los elementos estructurales en condiciones correspondientes a también específicos breves momentos de su vida.

Finalmente, cuando además de construir la estación siguiendo el antes descrito método constructivo invertido, se debe prever la posibilidad que los túneles se deban excavar con anterioridad a la estación misma y deban ser luego removidos, con la eventual condicionante adicional de mantener en operación alguno de los dos túneles durante todas las etapas constructivas

En Venezuela, después de una primera experiencia en la Estación Sabana Grande de la Línea 1 del Metro de Caracas ejecutada a comienzo de los años 80, más recientemente seis estaciones de la Línea 1 del Metro de Valencia (Fig.1) han sido construidas con el método invertido y otras cinco estaciones están ahora en construcción, mientras tres estaciones de la Línea 3 del Metro de Caracas están siendo construidas bajo las más complejas de las circunstancias descritas, esto es con los trenes en ejercicio dentro de los túneles excavados previamente a las estaciones y a ser luego desmontados para ser sustituidos por las estructuras de las mismas estaciones en curso de ejecución.

En este artículo se presentan los esquemas más representativos que ilustran el procedimiento constructivo en cuestión, referidos algunos a una estación típica del Metro de Valencia, cuyas vías férreas están alojadas dentro de un túnel de doble vía con aproximadamente 9 metros de diámetro, y referidos otros a una estación típica del Metro de Caracas, cuyas vías férreas están alojadas dentro de túneles gemelos con aproximadamente 6 metros de diámetro cada uno.

2 PRINCIPALES PECULIARIDADES

Quizás el detalle constructivo más importante y más recurrente que requiere el procedimiento invertido, es el que se refiere a las reservas que, dentro del cuerpo de los muros colados perimetrales (Fig.3) y de los eventuales (Fig.2) barros (columnas) de la estación, deben ser previstas para el adecuado y fundamental empotramiento que dentro de tales reservas debe

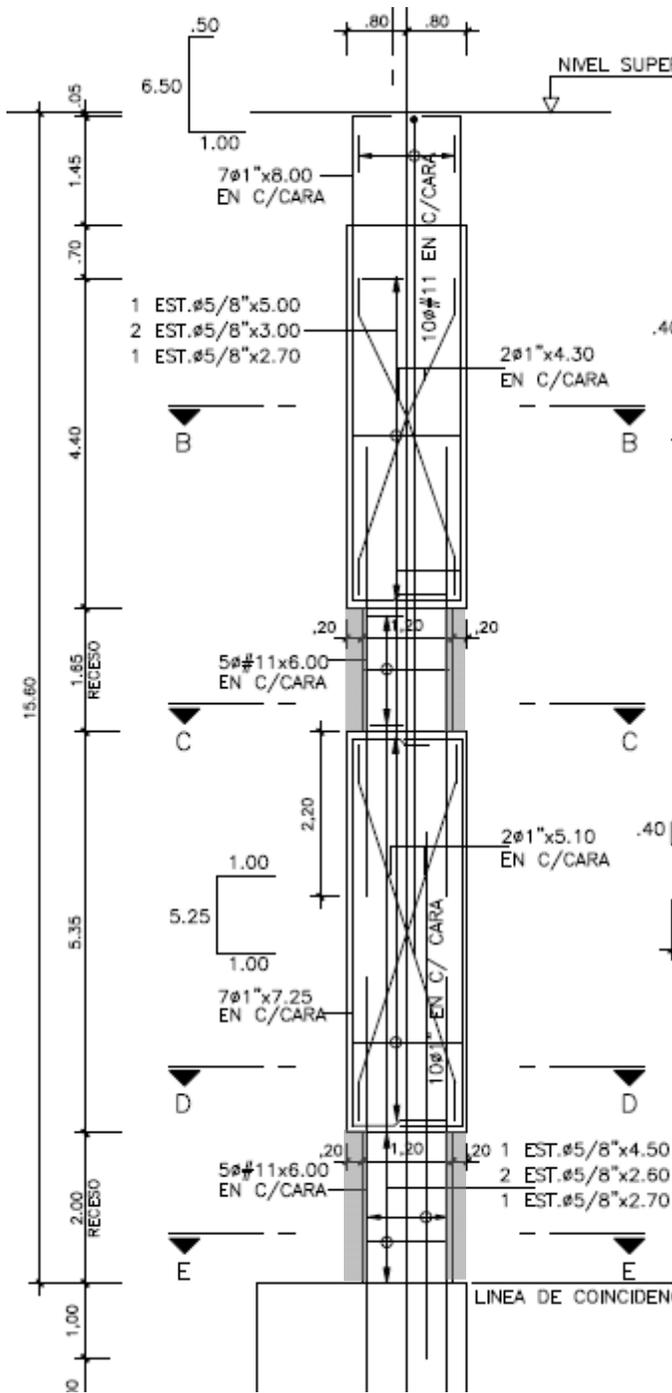


Figura 2 Recesos en los barros (columnas)

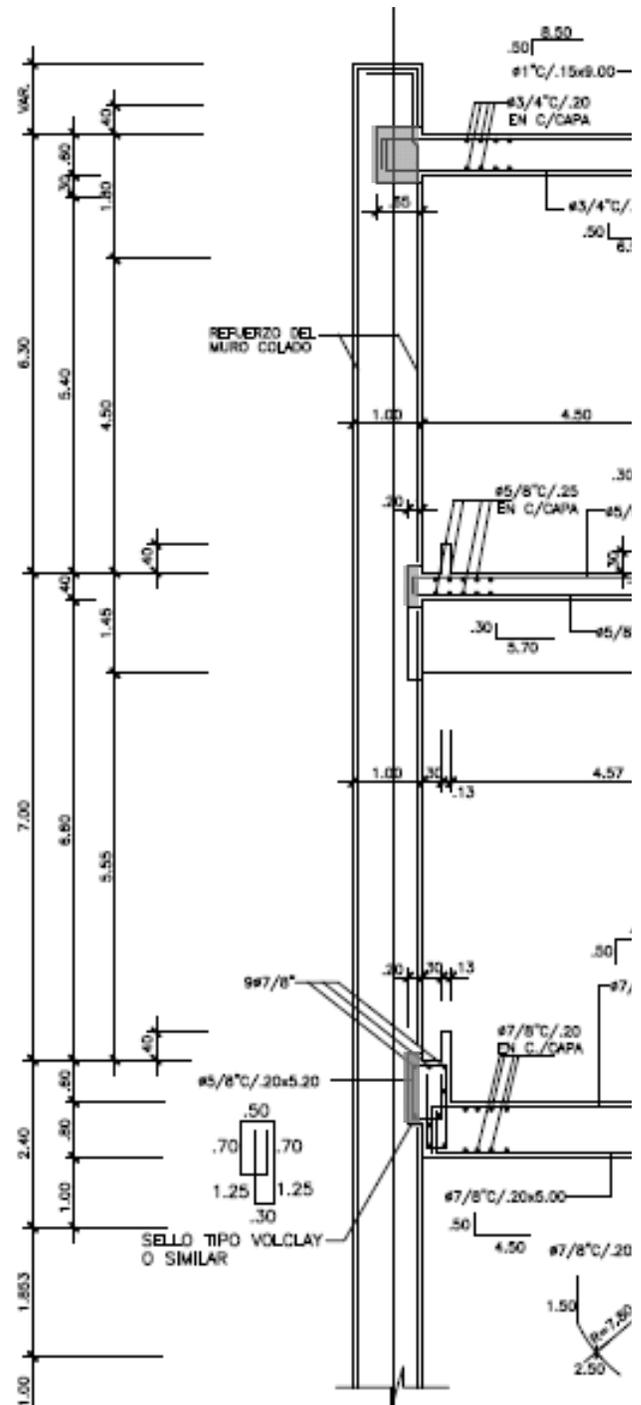


Figura 3 Recesos en los muros colados

ser realizado en todos los casos para las losas de mezanine y de andén, o losa de fondo estación, y también para las losas de techo estación, en aquellos casos en que resulte necesario (Fig.3) a causa de la profundidad de las mismas y de la proximidad de edificaciones o servicios a preservar (en Fig.4 un caso sin recesos en techo).

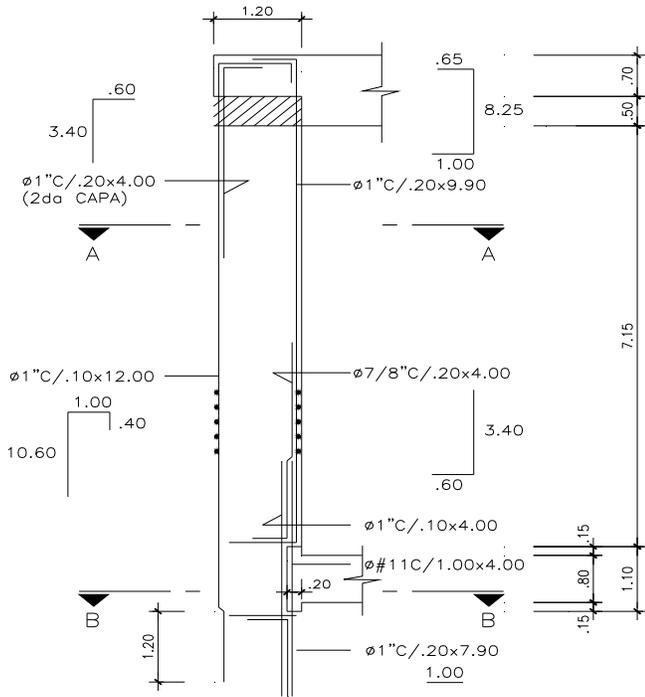


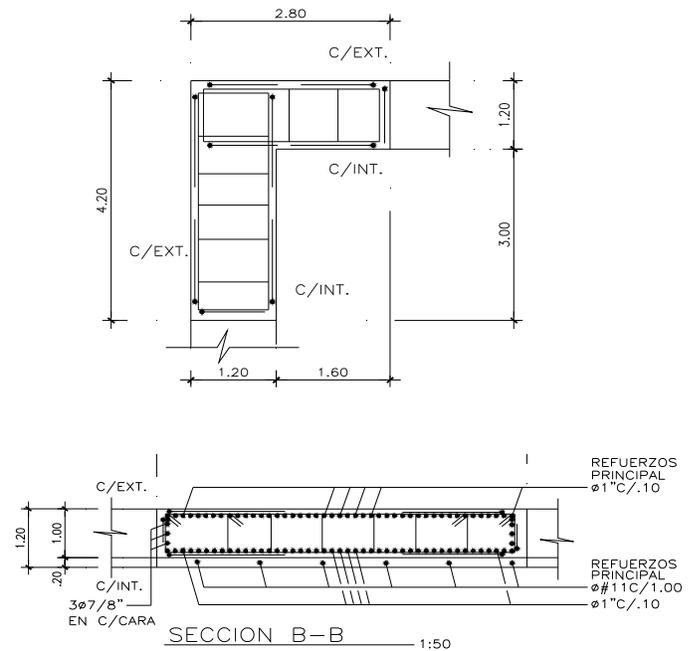
Figura 4 Muros colados sin recesos a nivel de techo estación

Estas reservas, o recesos, se realizan aplicando específicos espesores (generalmente de madera) al extradós de las armaduras de los barros (Fig.2) y de los paneles de muros colados (Fig.3), para con ello impedir la penetración del concreto colado dentro de aquellos espacios destinados al sucesivo referido empotramiento de las losas y, para el caso de los muros perimetrales, manteniendo al mismo tiempo también la presencia de una armadura mínima dentro del espesor mismo del receso.

Naturalmente entre los aspectos fundamentales de este problema está el geométrico, en el sentido de la precisión con la cual tales recesos deben ser previstos y conformados a los diferentes niveles de profundidad para las diferentes barretas y los diferentes paneles involucrados en cada caso.

Niveles estos que inclusive pueden variar de barrote a barrote y de panel a panel, en los caso de losas a ser luego construidas con cierta pendiente.

Vale la pena señalar que especial atención debe ser prestada al referido detalle del empotramiento estructural de las losas a los muros perimetrales, cuando se trata de losas del techo de la estación, debido a las grandes cargas verticales de tierra y de tránsito de superficie que generalmente deben ser soportadas y transmitidas por estas losas.



En estos casos las reservas, o recesos, dentro del cuerpo de los paneles colados deben ser más profundos (Fig.3) y las conexiones muros-losas deben ser estructuralmente mucho más eficientes.

También reviste cierta peculiaridad y delicadeza estructural del método constructivo invertido, la manera en que se deben transmitir las cargas de superficie, techo y mezanine al terreno de fundación durante las etapas temporales iniciales del proceso constructivo, hasta tanto no sea construida por completo la losa de fondo estación, la cual en definitiva transmitirá permanentemente las mayor parte de las cargas de toda la estructura al terreno de fundación.

Mientras tanto serán los muros colados perimetrales que a través de su necesario y adecuado empotramiento deben funcionar como elementos de fundación profunda, conjuntamente con los barros que, cuando previstos, deben ser igualmente adecuadamente y suficientemente empotrados para trabajar temporalmente como

fundaciones profundas (pilotes) y no solamente como columnas.

Finalmente, las losas de techo y de mezanine deben prever la presencia de importantes aperturas temporales, estratégicamente ubicadas dentro del área de la estación en función de las previstas operaciones de desescombro de los terrenos que, siendo excavados desde el subterráneo, deben ser eficientemente evacuados hasta la superficie.

Estas aperturas temporales de dimensiones relativamente importantes, obligan a prever la existencia de situaciones estructuralmente muy exigentes para las losas de techo y de mezanine, y a prever al mismo tiempo, adecuados y eficientes detalles estructurales para su posterior cierre, o eventualmente para su posterior redimensionado para los casos de su posible coincidencia con alguna de las aperturas funcionales permanentes presentes en la estación.

3 PECULIARIDADES ESPECIALES

En la introducción se ha anticipado como las dificultades ligadas al procedimiento constructivo invertido de las estaciones se incrementan cuando se pretende construir el túnel, o los túneles gemelos, antes de construir las estaciones mismas, y como se incrementan aún más cuando, en el caso de túneles gemelos, se pretende además mantener en ejercicio el tránsito de los trenes durante todas las fases constructivas de las estaciones mismas en por lo menos uno de los dos túneles.

Lo anterior generalmente puede ocurrir por preconcebidas exigencias programáticas o de inversión, mientras en otros casos y quizás con más frecuencia, puede ocurrir para compensar demoras programáticas de varias procedencias.

Es deseable en todos estos casos, que por lo menos se puedan construir (vaciar) los muros colados correspondientes a los cabezales de las estaciones antes del paso de los túneles, de manera tal que tal paso se produzca perforando los muros y evitando en consecuencia las grandes dificultades que se deberían en cambio enfrentar al tener que construir los mismos muros alrededor de los túneles eventualmente ya excavados.

Las problemáticas ligadas a la construcción de los muros longitudinales de las estaciones, paralelos a los túneles ya excavados, son por otro lado relativamente sencillas, ya que en principio

se limitan a la necesaria precisión con que se debe respetar el replanteo geométrico de los muros y la estricta verticalidad de su excavación, toda vez que se pueda prever un retiro mínimo suficiente entre los muros y los túneles, el cual puede ser del orden del metro y cuando necesario, también algo inferior.

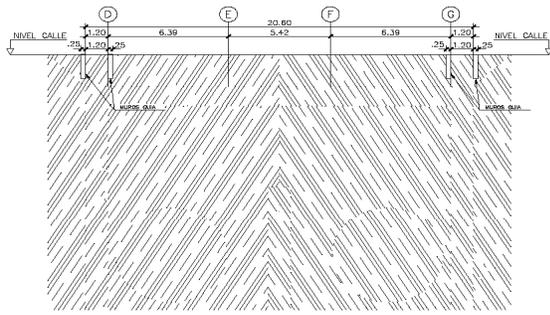
En el caso específico de las referidas tres estaciones de la Línea 3 del Metro de Caracas (Jardines - Coche y Mercado), para poder mantener en ejercicio los trenes dentro de los túneles construidos previamente, se ha construido desde la superficie un tercer muro colado longitudinal temporal a todo lo largo del eje de la estación, suficientemente empotrado debajo de la cota de fondo andén y vaciado solamente hasta la cota de mezanine.

Este muro cumple inicialmente la función de elemento de contención, cuando en una de las vías aún está transitando el tren dentro del túnel mientras en la otra se está desmontando el túnel y se están construyendo la losa de fondo estación con el andén y todos los demás elementos de la vía férrea, y cumple luego la función de simple separación física, cuando el tren transita en la vía de la estación primeramente completada mientras se está desmontando el segundo túnel y se están construyendo la losa de fondo estación con el andén y todos los demás elementos de la segunda vía férrea de la estación.

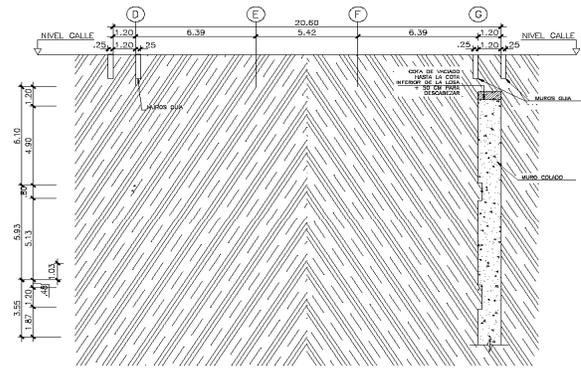
Contemporáneamente, la porción empotrada del mismo muro colado dispuesto longitudinalmente a todo lo largo del eje de la estación, cumple con la fundamental y muy delicada función estructural de apoyo y de ancla para ambas mitades de la losa de fondo estación, sujetas a la acción del tránsito del tren y a la contemporánea fuerte sub-presión hidráulica.

Tal función temporal se prolonga durante todo el lapso de tiempo comprendido entre el momento del vaciado de cada una de las mitades de la losa de fondo estación y el momento en que se puede finalmente completar la conexión y la continuidad estructural entre ambas porciones, lo cual ocurre solamente al final del procedimiento, cuando se haya vaciado por completo la segunda media losa y se haya procedido a la demolición de la porción no empotrada del muro colado separador.

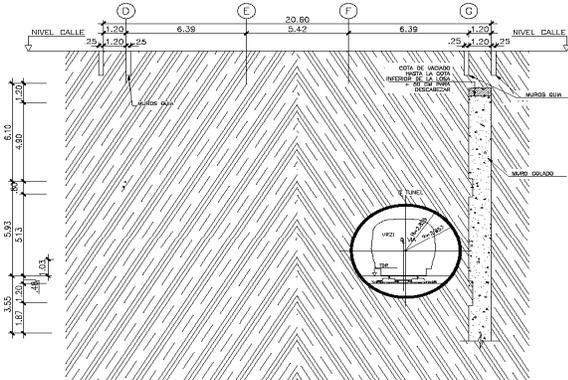
Las dos figuras (5 y 6) que siguen ilustran todas las principales etapas del proceso constructivo y la Fig.7 detalla el ancla del muro colado central.



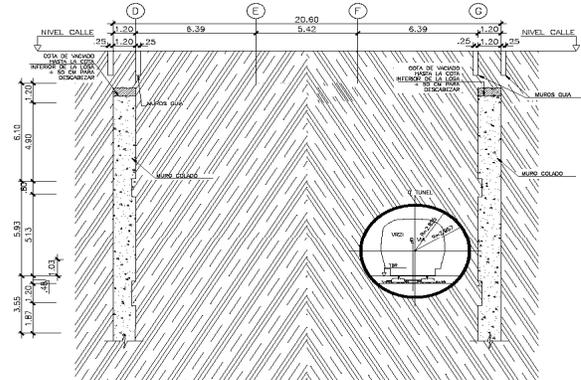
FASE (D) MUROS GUIA (ESTACION LOS JARDINES) 200/1/100
 1.1-EXCAVACION Y CONSTRUCCION DE LOS MUROS GUIA DEFINIDOS POR EL CONTORNO DE LA ESTACION LOS JARDINES.



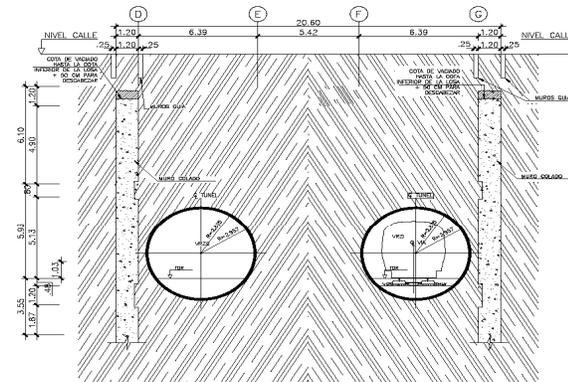
FASE (E) MUROS COLADOS (ESTACION LOS JARDINES) 200/1/100
 1a- EXCAVACION Y CONSTRUCCION DE LOS MUROS COLADOS DE LOS PORTALES NORTE Y SUR, ASI COMO LOS MUROS COLADOS, ADYACENTES AL TUNEL IZQUIERDO.



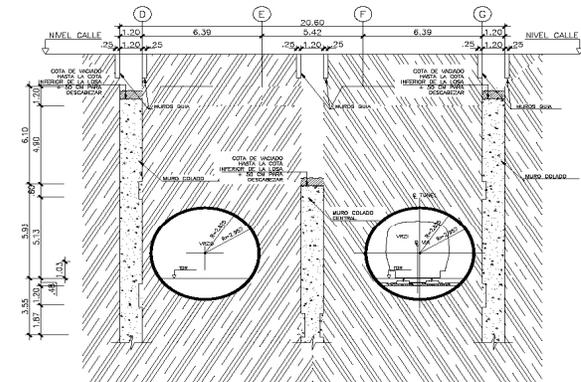
FASE (b) TUNEL IZQUIERDO (ESTACION LOS JARDINES) 200/1/100
 1b- EXCAVACION Y CONSTRUCCION DEL TUNEL IZQUIERDO A TRAVES DE LA ESTACION.



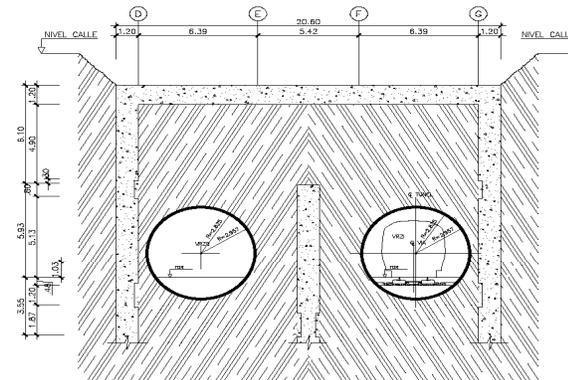
FASE (c) MUROS COLADOS (ESTACION LOS JARDINES) 200/1/100
 1c- EXCAVACION Y CONSTRUCCION DE LOS MUROS COLADOS ADYACENTES AL TUNEL DERECHO.



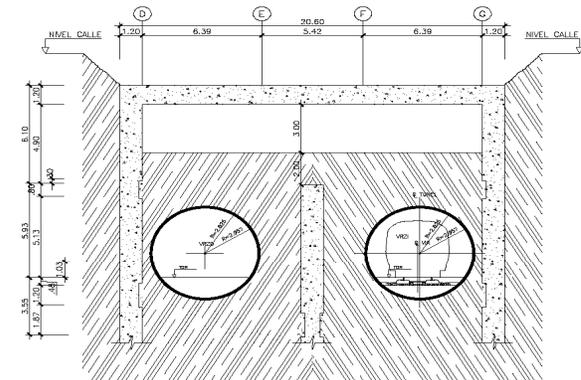
FASE (d) TUNEL DERECHO (ESTACION LOS JARDINES) 200/1/100
 1d- EXCAVACION Y CONSTRUCCION DEL TUNEL DERECHO A TRAVES DE LA ESTACION.



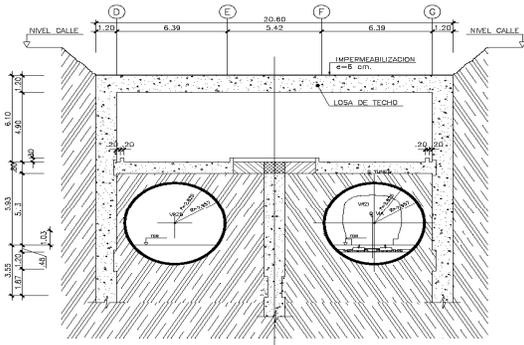
FASE (e) MUROS COLADOS (ESTACION LOS JARDINES) 200/1/100
 2.1-EXCAVACION Y CONSTRUCCION DE LOS MUROS COLADOS CENTRALES PARA LA ESTABILIZACION DEL TUNEL IZQUIERDO (EN OPERACION COMERCIAL) DURANTE LA CONSTRUCCION DE LA VIA DERECHA.
 2.2-PREVER RECESOS PARA EL VACIADO DE LA LOSA DE TECHO, MEZZANINA Y BASE DE LA ESTACION.



FASE (f) LOSA DE TECHO (ESTACION LOS JARDINES) 200/1/100
 3.1-EXCAVACION DE LA ESTACION HASTA LA COTA INFERIOR DE LA LOSA DE TECHO.
 3.2-REMOVER Y PETRAR ESCOMBROS DE LOS MUROS GUIAS.
 3.3-REMOVER 50CM. DE MURO COLADO EN EL EXTREMO SUPERIOR.
 3.4-CONSTRUIR LA LOSA DE TECHO.

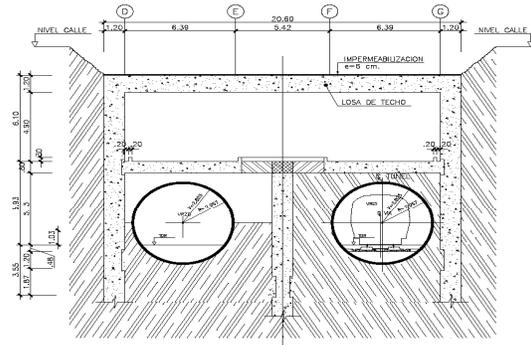


FASE (g) LOSA DE TECHO (ESTACION LOS JARDINES) 200/1/100
 3.1a-EXCAVACION CONTROLADA DE LOS PRIMEROS 3 MTS. DESDE LA COTA INFERIOR DE LA LOSA DE TECHO.
 3.2a-MONITOREO DE LOS TUNELES DURANTE LA FASE DE EXCAVACION CONTROLADA.



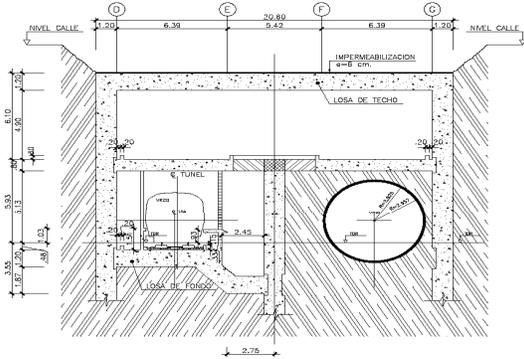
FASE ① LOSA DE MEZZANINA (ESTACION LOS JARDINES) 000/1/00

- 4.1- IMPERMEABILIZAR TECHO DE LA ESTACION.
- 4.2- RELLENAR HASTA 1m. SOBRE LA LOSA DE TECHO.
- 4.3- EXCAVACION DE LA ESTACION HASTA EL NIVEL CORRESPONDIENTE COTA INFERIOR DE LA LOSA DE MEZZANINA.
- 4.4- VACAR LA LOSA DE MEZZANINA.



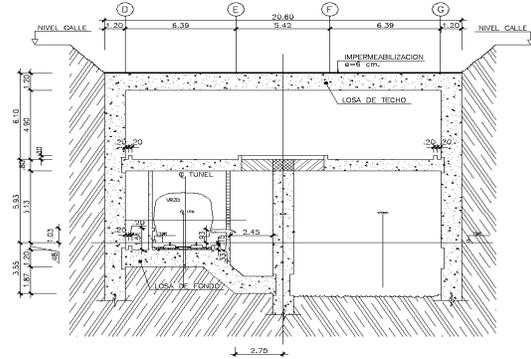
FASE ② LOSA DE MEZZANINA (ESTACION LOS JARDINES) 000/1/00

- 4.1- EXCAVACION SECTORIZADA Y DEMOLICION DE LOS SEGMENTOS DE ANILLO.



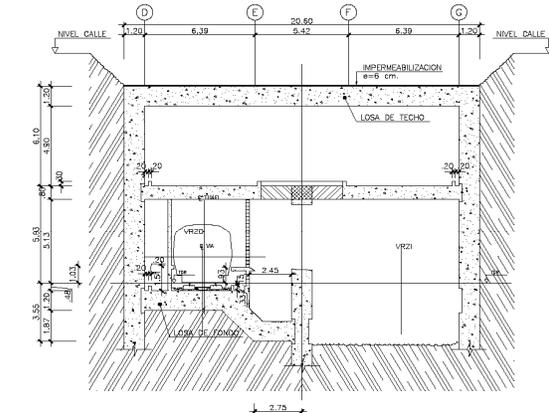
FASE ③ VIA VR2D (ESTACION LOS JARDINES) 000/1/00

- 5.1- EXCAVACION DE LA VIA DERECHA.
- 5.2- HACER LOSA DE FONDO.
- 5.3- CONSTRUIR VIA Y PARTE DE ANDEN.
- 5.4- CONSTRUIR EL FABRICO DE PROTECCION PARA LA EXCAVACION DE LA VIA IZQUIERDA.
- 5.5- PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE LA VIA.



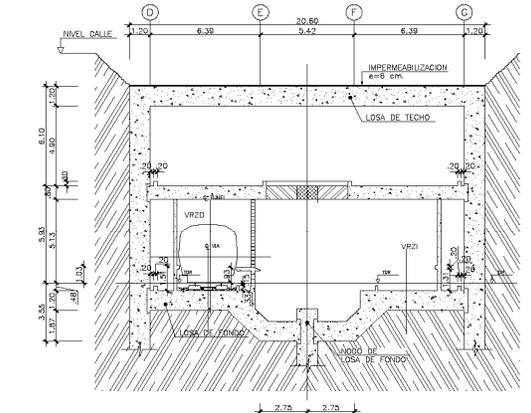
FASE ④ VIA VR2I (ESTACION LOS JARDINES) 000/1/00

- 6.1- EXCAVACION DE LA VIA IZQUIERDA.



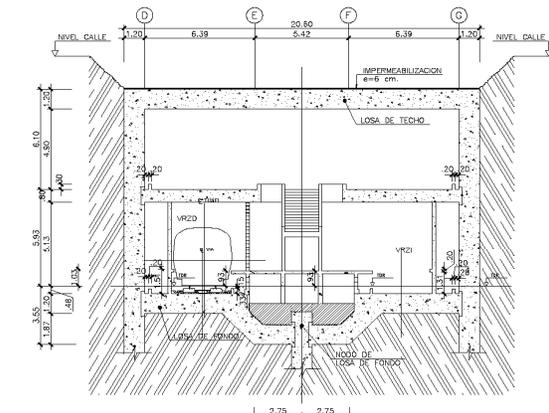
FASE ⑤ VIA VR2I (ESTACION LOS JARDINES) 000/1/00

- 7.1- DEMOLER MUROS COLADOS CENTRALES.



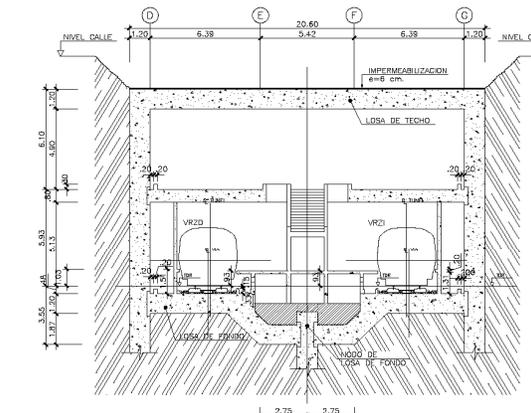
FASE ⑥ VIA VR2I (ESTACION LOS JARDINES) 000/1/00

- 8.1- VACAR LOSA DE FONDO VIA IZQUIERDA.



FASE ⑦ VIA VR2I (ESTACION LOS JARDINES) 000/1/00

- 9.1- VACAR NODO DE LOSA DE FONDO.
- 9.2- CONSTRUIR ANDEN CENTRAL, ESCALERAS FLUJ Y MECANICAS.
- 9.3- HABILITAR VIA IZQUIERDA.



FASE ⑧ VIA VR2I (ESTACION LOS JARDINES) 000/1/00

- 10.1- PUESTA EN FUNCIONAMIENTO LA ESTACION.

