



Realizar la estructuración integral del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá, incluyendo los componentes legal, de riesgos, técnico y financiero

Entregable 4
Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte
Anexo A

Documento No. L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC



CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Versión	Fecha	Sección Modificada	Observaciones
A	18-02-2022	-	Versión Inicial
B	08-03-2022	Se incluyen esquemas en Anexo	Se atienden comentarios de Interventoría
C	05-05-2022	-	-

REVISIÓN Y APROBACIÓN FDN

J. C. Pantoja 18-05-2022
Gerente de estructuración

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Preparó: F. García 05-05-2022	Preparó: L. López 05-05-2022	Preparó: V. Lapadula 05-05-2022	Aprobó: L. Blanco 05-05-2022
VoBo. Estaciones Subterráneas	VoBo. Estación Elevada	VoBo. Túnel - CCO	VoBo. Pozos

Preparó: W. Valbuena 05-05-2022	Preparó: D. González 05-05-2022	Preparó: J. Cruz 05-05-2022	Aprobó: F. Consuegra 05-05-2022
VoBo. Patio Taller	VoBo. Estructuras Hidráulicas	VoBo. Muros de Contención	VoBo. Director de División

Revisó: O. Véliz 05-05-2022	Revisó: F. Faria 05-05-2022	Revisó: C.L. Umaña 05-05-2022	Aprobó: J.M. Martínez 05-05-2022
VoBo. Director Técnico	VoBo. Director Financiero	VoBo. Director Legal	VoBo. Director General de Estructuración

TABLA DE CONTENIDO

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO	5
10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN	5
10.8 ESTRUCTURAS	5
10.8.1 Estaciones subterráneas, accesos satelitales y CCO	5
10.8.1.1 Ubicación	5
10.8.1.2 Descripción	5
10.8.1.3 Requerimientos generales de diseño	6
10.8.1.4 Metodología de diseño.	7
10.8.2 Estación elevada	7
10.8.2.1 Ubicación	7
10.8.2.2 Descripción	7
10.8.2.3 Requerimientos generales de diseño	8
10.8.2.4 Metodología de diseño.	9
10.8.3 Estructura del túnel, cola de maniobras y afectación a estructuras existentes	9
10.8.4 Pozos	9
10.8.4.1 Ubicación	9
10.8.4.2 Descripción	9
10.8.4.3 Requerimientos generales de diseño	9
10.8.4.4 Metodología de diseño.	10
10.8.5 Patio taller	10
10.8.5.1 Ubicación	10
10.8.5.2 Requerimientos generales de diseño	10
10.8.5.3 Metodología de diseño	11
10.8.6 Obras asociadas a redes húmedas	11
10.8.6.1 Requerimientos generales de diseño	11
10.8.6.2 Metodología de diseño	11
10.8.7 Muros de contención	12

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Configuración estructural preliminar para estaciones.

Figura 2. Sección vial tramo Estación 11

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO

10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN



10.8 ESTRUCTURAS

El presente documento y sus anexos presentan lo relacionado con el componente estructural requerido para la implementación y operación de L2MB.



10.8.1 Estaciones subterráneas, accesos satelitales y CCO

Se contemplan los elementos estructurales que conforman una estación subterránea, incluyendo las estructuras de acceso y las correspondientes galerías peatonales.

10.8.1.1 Ubicación

De acuerdo con el trazado establecido para la L2MB, se proyecta la construcción de 10 estaciones subterráneas. A continuación se presenta la localización aproximada de cada una de las mismas:

- Estación 1: Av. calle 72 con Carrera 17. Costado Norte
- Estación 2: Av. Calle 72 con Carrera 51. Costado Sur.
- Estación 3: Av. Calle 72 con Carrera 68. Costado Norte.
- Estación 4: Av. Calle 72 con Av. Boyacá. Costado Sur.
- Estación 5: Av. Calle 72 con Carrera 80. Costado Norte.
- Estación 6: Av. Ciudad de Cali con Av. Calle 80. Costado Sur.
- Estación 7: Av. Ciudad de Cali con Calle 90.
- Estación 8: Av. Ciudad de Cali con Carrera 93c. Costado Norte
- Estación 9: Av ALO con Calle 129d.
- Estación 10: Av ALO con Calle 139

10.8.1.2 Descripción

En la Figura 1 se presenta la configuración estructural establecida para las estaciones. Esta sección transversal podría estar sujeta a cambios menores en función de las características particulares de cada estación y de los análisis durante el proceso de diseño estructural a nivel de factibilidad.

10.8.1.4 Metodología de diseño.

Para el análisis y diseño del sistema estructural de las estaciones, a nivel de factibilidad, se emplean modelos estructurales simplificados, tales como modelos matemáticos en 2D o 3D y cálculos numéricos manuales mediante el análisis de diagramas de cuerpo libre de elementos aislados, garantizando una representación razonable de la estructura. A partir de estos modelos simplificados, se estiman las dimensiones de secciones transversales y las densidades de acero de refuerzo. El método constructivo definido para las estaciones corresponde al sistema *Cut & Cover*. Por lo tanto, el proceso de análisis y diseño estructural, a nivel de factibilidad, está asociado exclusivamente al mencionado sistema constructivo.

10.8.2 Estación elevada

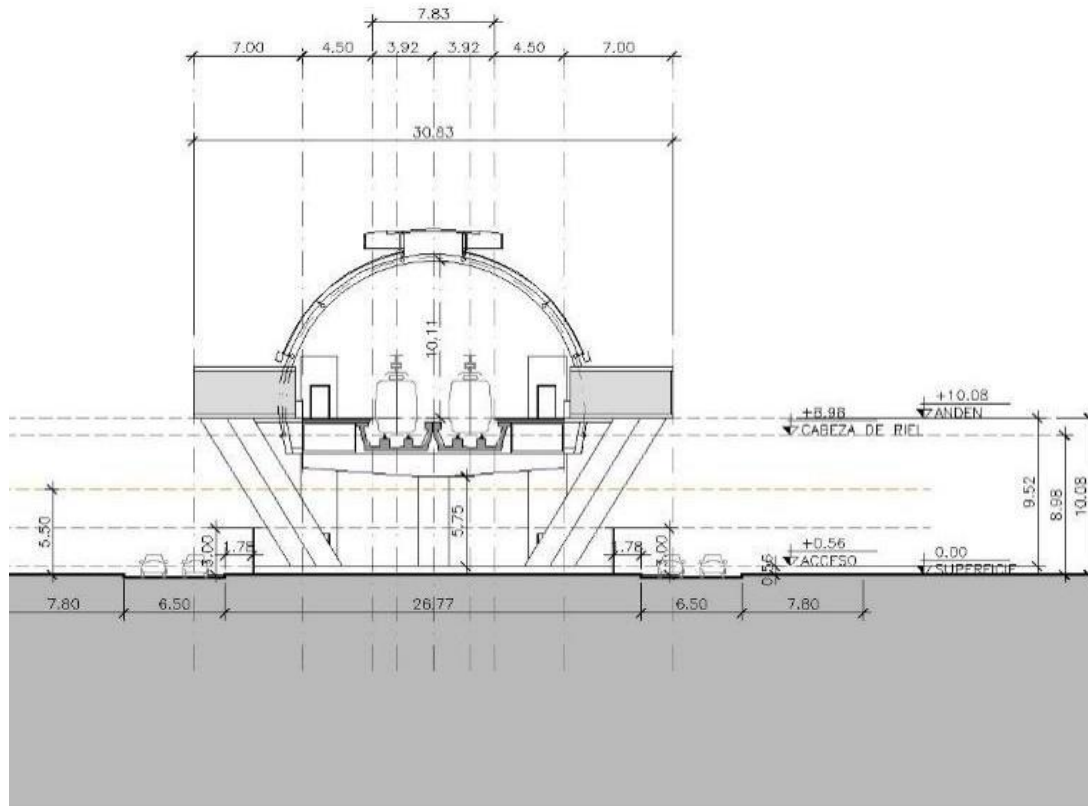
10.8.2.1 Ubicación

De acuerdo con el trazado de la L2MB, se proyecta la construcción de una estación elevada (estación Fontanar No. 11). Esta estación se localiza aproximadamente en la calle 145 entre las carreras 141b y 145, de la ciudad de Bogotá.

10.8.2.2 Descripción

A continuación se describen las características generales de la estructura de la estación elevada:

- La distancia de la estación a las edificaciones existentes adyacentes varía entre los 16 y 20 m, que se componen de torres residenciales de 12 pisos al costado sur, y casas unifamiliares de entre 2 y 4 pisos en el costado norte.
- El separador/plazoleta, con un ancho de 26.77m y un área de 12,000m², se extiende hacia el occidente y principalmente hacia el oriente (frente a la manzana correspondiente al Parque Fontanar del Río), de manera que se genera un importante espacio público de acceso a la estación.



SECCIÓN B

1:250

Figura 2. Sección vial tramo Estación 11
Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- La estructura de la cubierta de la estación apoya sobre la viga cabezal y pila del viaducto
- La estructura incluye una viga cajón metálica de apoyo de los andenes
- Se requiere el diseño de plataformas donde conectarán las escaleras metálicas del primer nivel al segundo nivel.
- Uso de la edificación: Sistema masivo de transporte
- Grupo de uso: IV
- Coeficiente de importancia: 1,50

10.8.2.3 Requerimientos generales de diseño

Los elementos estructurales que conforman la estación elevada tienen la capacidad de resistir las solicitaciones de carga tales como: cargas vivas asociadas a la circulación de pasajeros, cargas vivas asociadas a la circulación de los trenes, cargas de equipos, cargas de viento sobre la cubierta y cargas sísmicas. El proceso de diseño estructural contempla los lineamientos de la normativa de referencia, nacional e internacional indicada en los criterios de diseño.

10.8.2.4 Metodología de diseño.

Para el análisis y diseño del sistema estructural de las estaciones, a nivel de factibilidad, se realizan modelos estructurales simplificados, tales como modelos matemáticos en 2D o 3D y cálculos numéricos manuales mediante el análisis de diagramas de cuerpo libre de elementos aislados, garantizando una representación razonable de la estructura. A partir de estos modelos simplificados, se estiman las dimensiones de secciones transversales y las densidades de acero de refuerzo.

10.8.3 Estructura del túnel, cola de maniobras y afectación a estructuras existentes

Se hizo la estimación de las cantidades de obra estructural asociada a la construcción del túnel, así como las cantidades de obra relacionadas con la afectación de estructuras existentes. Igualmente, un análisis estructural simplificado de las dovelas y un análisis de subsidencia para estimar la afectación a las estructuras existentes.

10.8.4 Pozos

10.8.4.1 Ubicación

Según el trazado de la L2MB, el pozo de entrada de la tuneladora se encuentra ubicado en la carrera 136a con calle 145, cerca del Patio Taller, y el pozo de salida en la carrera 11 con calle 72. Se cuenta también con pozos de emergencia y ventilación típicos distribuidos a lo largo del trazado, tal que la distancia no supere los 760 m desde la estación más cercana.

10.8.4.2 Descripción

El pozo de entrada está conformado por pantallas pre-excavadas con losa de cimentación, la estructura se adapta al perfil longitudinal de la vía férrea el cual va en descenso.

El pozo de salida de la tuneladora está conformado por pantallas pre-excavadas y vigas que sirven de apuntalamiento. El nivel de fondo lo conforma la placa de cimentación, los niveles intermedios y superior están conformados por vigas y placas.

Los pozos intermedios permiten alojar los equipos para ventilar y bombear el túnel. Adicionalmente sirven como salida de emergencia. Estos pozos cuentan con galerías que conectan la parte inferior del pozo con el túnel principal de tal forma que su salida se da hacia un predio. Su construcción se realiza por el método de Cut & Cover, ver numeral 2.4.2. Proceso constructivo sistema Cut & Cover. Las estructuras de salida de los pozos serán consideradas dentro del grupo de uso IV según la NSR-10.

10.8.4.3 Requerimientos generales de diseño

Los elementos estructurales que conforman los pozos tienen la capacidad de resistir solicitaciones de carga tales como: empujes laterales del terreno, sobrecargas laterales vivas y muertas, cargas vivas asociadas a la circulación de pasajeros, cargas vivas asociadas a la circulación de los trenes, cargas de equipos. El proceso de diseño estructural tiene en cuenta los lineamientos de la normativa de referencia, nacional e internacional indicada en los criterios de diseño.

10.8.4.4 Metodología de diseño.

Para el análisis y diseño del sistema estructural de los pozos a nivel de factibilidad, se realizan modelos estructurales simplificados, tales como modelos matemáticos en 2D o 3D y cálculos numéricos manuales mediante el análisis de diagramas de cuerpo libre de elementos aislados, garantizando una representación razonable de la estructura. A partir de estos modelos simplificados, se estiman las dimensiones de secciones transversales y las densidades de acero de refuerzo.

10.8.5 Patio taller

10.8.5.1 Ubicación

Se seleccionó la ubicación para el patio-taller al nivel del predio “Fontanar del Río” localizado en el extremo occidental de la L2MB, entre el borde oriental del río Bogotá y el borde urbano consolidado de la ciudad en la Localidad de Suba, entre la prolongación de la calle 144 y la diagonal 146. El patio-taller se ubicará detrás de la Estación Fontanar (n°11), ubicación ideal que limita el movimiento de trenes en vacío.

El área total del polígono es de aproximadamente 30 Ha, y tiene incluidos los futuros desarrollos para el Parque Lineal del Río Bogotá y la reserva vial para la ampliación de la Avenida Transversal de Suba, así como la Zona de Manejo y Preservación Ambiental - ZMPA del río Bogotá. Tomando en cuenta estos factores, el área disponible para desarrollar el taller equivale a 21.86 ha aproximadamente.

Dimensionado del patio-taller

El dimensionado del patio-taller está definido por los siguientes elementos:

- Datos relacionados con el material rodante
- Datos operativos
- Datos relacionados con la infraestructura del proyecto
- Organización de las actividades de mantenimiento
- Organización y dotación de personal de los talleres

Dimensionamiento del Patio Taller

En la base de las hipótesis descritas anteriormente, se han calculado las necesidades de superficie e infraestructuras para el Patio Talleres:

10.8.5.2 Requerimientos generales de diseño

El diseño de las edificaciones tiene en cuenta:

- Layout general del patio taller. “Implantación”
- Requerimientos operacionales y funcionales.
- Recomendaciones Geotécnicas.
- Normatividad aplicable.
- Requerimientos especiales de diseño
- Materiales de construcción.
- Requerimientos especiales en los procesos constructivos.

10.8.5.3 Metodología de diseño

Para el análisis y diseño del sistema estructural de las edificaciones que conforman el Patio Taller, a nivel de factibilidad, se realizan modelos estructurales simplificados, tales como modelos matemáticos en 2D o 3D y cálculos numéricos manuales mediante el análisis de diagramas de cuerpo libre de elementos aislados, garantizando una representación razonable de la estructura. A partir de estos modelos simplificados, se estiman las dimensiones de secciones transversales de los componentes estructurales..

10.8.6 Obras asociadas a redes húmedas

10.8.6.1 Requerimientos generales de diseño

Los elementos estructurales que conforman los anclajes, las cajas de accesorios, las cámaras de inspección y los box culvert tienen la capacidad de resistir las solicitaciones de carga tales como: empujes laterales del terreno, sobrecargas laterales vivas y muertas, cargas vivas y cargas de agua. El proceso de diseño estructural se realiza teniendo en cuenta los lineamientos de la normativa de referencia, nacional e internacional indicada en los criterios de diseño.

10.8.6.2 Metodología de diseño

- Anclajes

Los anclajes enterrados son tipificados de acuerdo con su deflexión o trayectoria, ya sea horizontal, vertical o mixta, reducciones, tapones y derivaciones. Para el diseño de los anclajes se tienen en cuenta las fuerzas originadas por el flujo de agua a presión dentro de la tubería y las características del suelo en el cual se encuentra la estructura.

- Cajas de Accesorios

Las diferentes cajas están conformadas por losas y muros en concreto reforzado tipificando por tipo de accesorio. El análisis estructural a nivel de factibilidad se realiza por medio de modelos simplificados, tales como modelos matemáticos en 2D o 3D, para cada tipo de caja, y cálculos numéricos manuales mediante el método de resistencia última. A partir de estos modelos simplificados, se estiman las dimensiones de las secciones transversales y las densidades de acero de refuerzo.

- Cámara de Inspección

Para la tipificación de la cámara de inspección se tuvo en cuenta la cantidad de tuberías de entrada y salida. El análisis estructural a nivel de factibilidad se realiza por medio de modelos simplificados, tales como modelos matemáticos en 2D o 3D, para cada tipo de cámara, y cálculos numéricos manuales mediante el método de resistencia última. El acero de refuerzo se estima mediante indicadores de densidad en kilogramos de acero por metro cúbico de concreto (kg/m^3)

- Box culvert

Los box culvert están compuestos por muros, losa superior e inferior de concreto reforzado. Estas estructuras se analizan a nivel de factibilidad mediante el uso de modelos simplificados bidimensionales y mediante el uso de hojas electrónicas desarrolladas para tal fin. A partir de estos modelos simplificados, se estiman las densidades de acero de refuerzo.

10.8.7 Muros de contención

Diseñados en concreto reforzado, con cimentación superficial, y *cantilever*, con alturas menores a 6 m.



Realizar la estructuración integral del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá, incluyendo los componentes legal, de riesgos, técnico y financiero

Entregable 4
Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte
Anexo A

Documento No. L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003 _VA



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003 _VA

CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Versión	Fecha	Sección Modificada	Observaciones
A	18-02-2022	-	Versión Inicial

REVISIÓN Y APROBACIÓN FDN

J. C. Pantoja 18-05-2022
Gerente de estructuración

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Preparó: F. García 18-02-2022	Preparó: L. López 18-02-2022	Preparó: V. Lapadula 18-02-2022	Aprobó: L. Blanco 18-02-2022
VoBo. Estaciones Subterráneas	VoBo. Estación Elevada	VoBo. Túnel - CCO	VoBo. Pozos

Preparó: W. Valbuena 18-02-2022	Preparó: D. González 18-02-2022	Preparó: J. Cruz 18-02-2022	Aprobó: F. Consuegra 18-02-2022
VoBo. Patio Taller	VoBo. Estructuras Hidráulicas	VoBo. Muros de Contención	VoBo. Director de División

Revisó: O. Véliz 18-02-2022	Revisó: F. Faria 18-02-2022	Revisó: C.L. Umaña 18-02-2022	Aprobó: J.M. Martínez 18-02-2022
VoBo. Director Técnico	VoBo. Director Financiero	VoBo. Director Legal	VoBo. Director General de Estructuración

TABLA DE CONTENIDO

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO ...	6
10. INFRAESTRUCTURA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN ...	6
10.8 ESTRUCTURAS	6
10.8.3 Estructuras Elevadas	6
10.8.3.1 Normativa	6
10.8.3.2 Requerimientos generales de diseño	6
10.8.3.3 Viaducto Elevado	6
10.8.3.4. DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS CONSTRUCTIVOS DEL VIADUCTO ELEVADO	10
10.8.3.4.1. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE LA SUBESTRUCTURA	10
10.8.3.4.1.1. Fundaciones	10
10.8.3.4.1.2. Rendimiento de ejecución de cimentaciones	15
10.8.3.4.1.3. Pilas tipo	15
10.8.3.4.1.4. Soportes especiales	19
10.8.3.4.2. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE LA SUPERESTRUCTURA	24
10.8.3.4.2.1. Viaducto estándar	25
10.8.3.4.2.3. Viaducto en zona de estación	37
10.8.2 Estación elevada	37
10.8.2.1 Ubicación	37
10.8.2.2 Descripción	37
10.8.2.3 Requerimientos generales de diseño	40
10.8.2.4 Metodología de diseño.	40
10.8.2.5 propiedad de los materiales	40
10.8.3 Anexos	41

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - planta del viaducto elevado y planteamiento de pilas	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 2 - perfil longitudinal del viaducto elevado	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 3 - perfil longitudinal del viaducto elevado tramo estación	8
Ilustración 4 - sección tipo gran-U	8
Ilustración 5 - Tramo tipo Viaducto elevado vista en planta y elevación	9
Ilustración 6 - capitel de pila típico	10
Ilustración 7 - Hélice continua con tubo	11
Ilustración 8 - Fases de ejecución de un pilote perforado con lodos tremie	11
Ilustración 9 - Excavación del dado y descabezado de pilotes	12
Ilustración 10 - Instalación de jaula de armaduras del dado y de barras en espera para la pila	13
Ilustración 11 - Zona de trabajo necesaria para ejecución de cimentaciones	14
Ilustración 12 - Construcción de fustes de pila para viaducto de metro	16
Ilustración 13 - Construcción de capitel colado in situ sobre cimbra apoyada en el suelo	16
Ilustración 14 - Capitel colado in situ sobre cimbra soportada por brackets (metro de Ho Chi Minh)	17
Ilustración 15 - Zona de trabajo necesaria para ejecución de pilas	18
Ilustración 16 - Perímetro de obra para construcción de pilas (metro de Hanói)	18
Ilustración 17 - Instalación de capitel prefabricado sobre anillo de posicionamiento	19
Ilustración 18 - Croquis mostrando procedimiento de ejecución de capitel excéntrico	20
Ilustración 19 - Croquis mostrando procedimiento de ejecución de pórtico $L < 15$ m	21
Ilustración 20 - Ejecución de pilas y de dintel de pórtico $18 \text{ m} < L < 25$ m	22
Ilustración 21 - Instalación de la viga prefabricada mediante grúa	23
Ilustración 22 - Colado in situ de nudos de conexión de dintel con columnas y de losa superior	24
Ilustración 23 - Montaje del tablero gran U del metro de Ho Chi Minh mediante viga lanzadora	25
Ilustración 24 - Croquis mostrando banco corto	26
Ilustración 25 - Banco corto y molde para dovela de pila	26
Ilustración 26 - Croquis mostrando banco largo	27
Ilustración 27 - Célula de prefabricación de dovela estándar	27
Ilustración 28 - Áreas de acopio de dovelas en parques de prefabricación	28
Ilustración 29 - Vista aérea de parque de prefabricación para L4 de Metro de Santiago de Chile	29

Ilustración 30 - Transporte de dovelas mediante remolques de cama baja	29
Ilustración 31 - Predio identificado para fabricación y fraguado de dovelas	30
Ilustración 32 - Suministro de dovelas hasta frente de obras mediante camiones	31
Ilustración 33 - Acopio de dovelas bajo viaducto	32
Ilustración 34 - Izado de las dovelas	33
Ilustración 35 - Aplicación del adhesivo epóxico y tesado de barras temporales	34
Ilustración 36 - Tensado de los cables de presfuerzo	34
Ilustración 37 - Descenso del vano sobre pilas	34
Ilustración 38 - Avance de la viga lanzadora, Fase 1: avance de la viga superior sobre la viga inferior (1)	35
Ilustración 39 - Avance de la viga lanzadora, Fase 2: avance de la viga superior sobre la viga inferior (2)	35
Ilustración 40 - Fase 3: avance de la viga inferior. Viga lanzadora lista para nuevo vano	35
Ilustración 41 - Izado de dovelas mediante viga lanzadora	36
Ilustración 42 - Ensamblaje temporal de dovelas mediante barras de pre esforzado y aplicación de adhesivo epóxico	36
Ilustración 43 - Carro de apoyo de la viga lanzadora y sistema de avance sobre tablero	37
Ilustración 44 - Avance de la viga lanzadora a vano siguiente	37
Ilustración 45 - Configuración tipo para modulo continuo de dos vanos	38
Ilustración 46 - Construcción del vano 1 mediante viga lanzadora	38
Ilustración 47 - Avance de la viga lanzadora a vano 2	38
Ilustración 48 - Construcción del vano 2 mediante viga lanzadora	39
Ilustración 49 - Avance de la viga lanzadora y colado del diafragma sobre pila central	39
Ilustración 50 - Tesado de cables de continuidad sobre pila central	39
Ilustración 51 - Construcción por avance en voladizos mediante dovelas prefabricadas.	40
Ilustración 52 - Construcción de módulo continuo de tipología “cajón con cuernos” (Metro de Dubái)	42
Ilustración 53 - Secuencia constructiva tipo para puente por voladizos sucesivos mediante carro de avance (1 de 2)	45
Ilustración 54 - Secuencia constructiva tipo para puente por voladizos sucesivos mediante carro de avance (2 de 2)	46
Ilustración 55 - Esquema estático en zona de aparato de vía con 3 vanos conectados longitudinalmente	49
Ilustración 56 - Sección de dovela de pila mostrando loseta de continuidad	49
Ilustración 57 - Planos de los pisos de entrada y de plataformas de la estación elevada; Error! Marcador no definido.	
Ilustración 58 - Sección transversal de la Estación Elevada	51

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003 _VA

Ilustración 59 - Detalle de estructura del cajón y capitel extendido de la estación elevada

52

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO

10. INFRAESTRUCTURA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN

10.8 ESTRUCTURAS

10.8.3 Estructuras Elevadas

10.8.3.1 Normativa

Los estudios para el diseño estructural fueron respaldados en:

- ASCE/SEI 7-05 - Cargas de Diseño Mínimas para Edificios y Otras Estructuras (Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures);
- ACI 318-08 - Requerimientos de Normas de Edificación para Concreto Reforzado (Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary), Instituto Americano del Concreto.
- ACI343.1R-12 Guide for the Analysis and Design of Reinforced and Prestressed Concrete Guideway Structures
- ASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) LRFD Bridge Design Specifications 7 th Edition 2014
- Norma Colombiana de Diseño de Puentes LRFD CCP-14, INVIAS – Resolución 108 del 26 de enero de 2015
- AASHTO LRFD – Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design. 2011 2nd Edition
- IN 4470 (Conception et calcul des ouvrages d'art du Réseau Ferré National aux Eurocodes)
- Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10

10.8.3.2 Requerimientos generales de diseño

Los elementos estructurales que conforman las estructuras elevadas, incluso viaducto y estación, tienen la capacidad de resistir las solicitaciones de carga tales como: empujes del terreno, sobrecargas vivas y muertas, cargas vivas asociadas a la circulación de pasajeros, cargas de viento sobre la cubierta y cargas sísmicas, cargas vivas asociadas a la circulación de los trenes, cargas de equipos. El proceso de diseño estructural se realiza teniendo en cuenta los lineamientos de la normativa de referencia, nacional e internacional indicada en los criterios de diseño.

10.8.3.3 Viaducto Elevado

Descripción

El proyecto del Viaducto elevado debe seguir el mismo principio de proyecto de la PLMB, con viaducto tipo Gran U y pilas de sección circular.

Dimensiones totales del Viaducto

- Ancho total: 10,18 metros;
- Longitud total: 1005 metros;
- Altura total máxima: 9,25 metros.

Esquema estructural

La vía elevada tiene 33 pilas con un diámetro igual a 2,0 metro con vanos de aproximadamente 30m entre ellas.

El Tramo elevado se compone de un viaducto de 1005m que empieza en rampa de 3% a partir de la trinchera con geometría horizontal en leve curva de radio 750m para luego entrar en tramo recto con altura constante aproximativamente 10m. El tramo en recta de 728m alberga la Estación 11 Fontanar y la cola de maniobras.

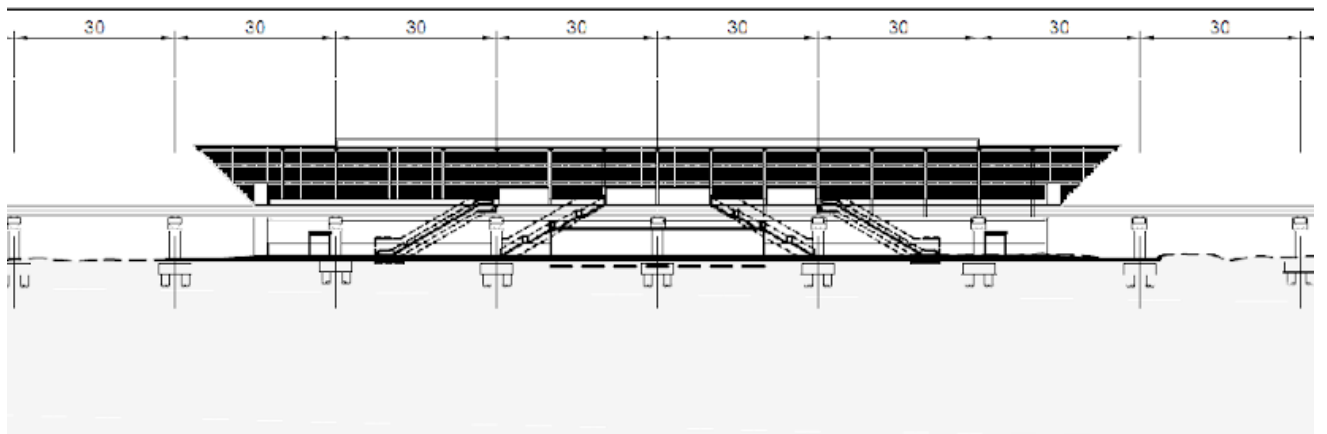
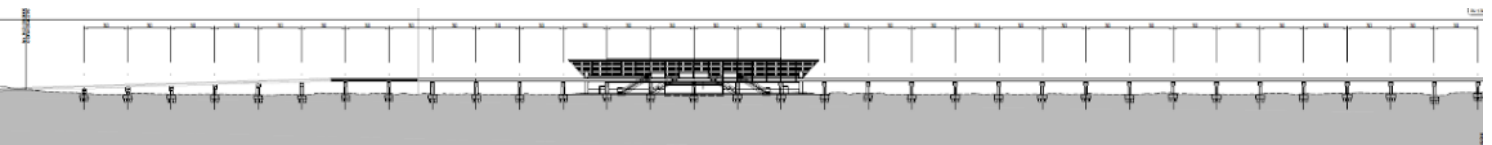
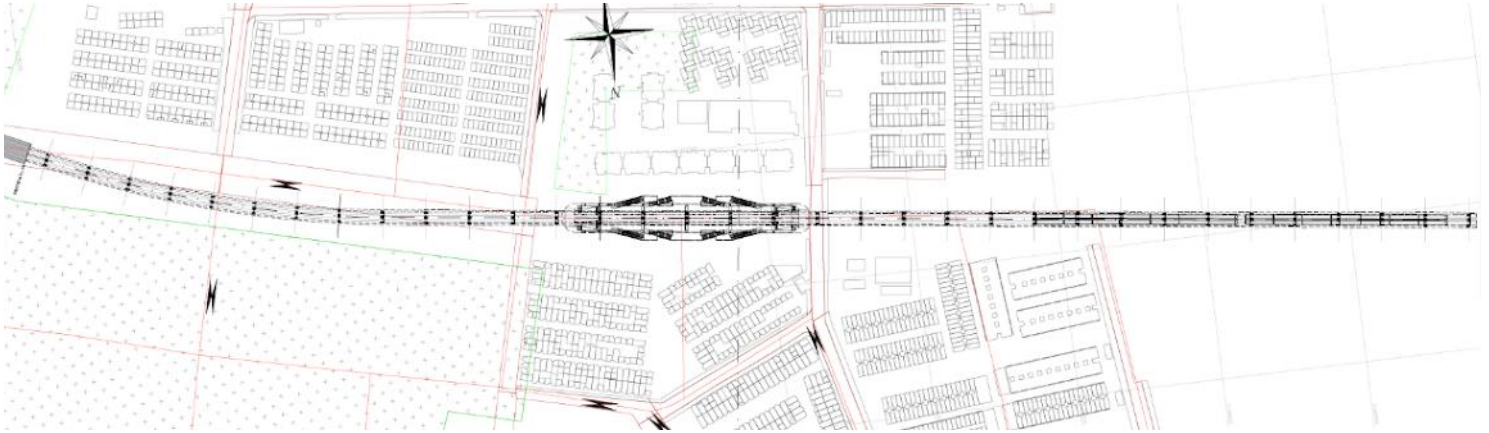


Ilustración 3 - perfil longitudinal del viaducto elevado tramo estación

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003 _VA

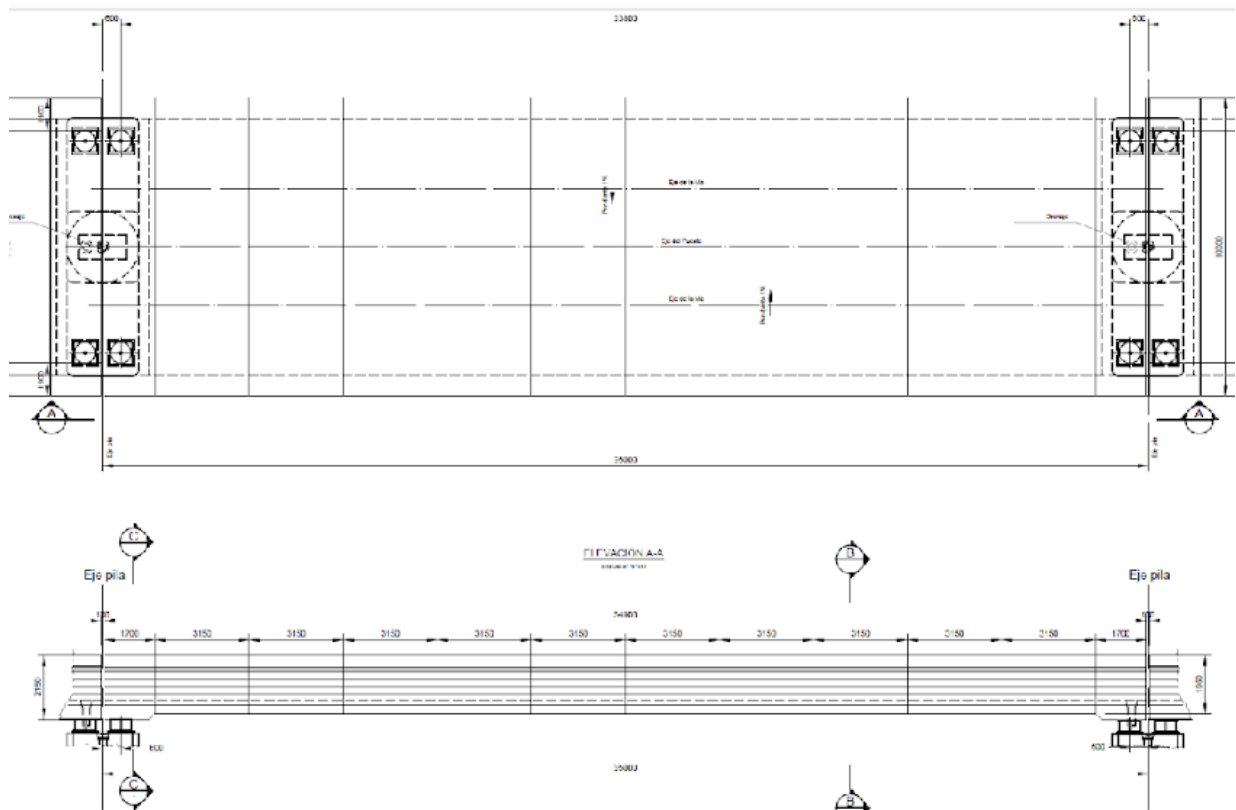


Ilustración 5 - Tramo tipo Viaducto elevado vista en planta y elevación

Pilas de columna circular

El viaducto gran-U se soporta mediante pilas de columna circular, acabadas en un capitel de aproximadamente la misma anchura que la base de la sección gran-U de apoyo del tablero. Cuando la traza del viaducto elevado se desvía de la mediana central de las avenidas y cruza las vías reservadas al tráfico con un gran esviaje, se recurre a apoyos especiales tipo pórtico, o a pilas con capitel excéntrico. Dada la magnitud de las fuerzas transmitidas a la subestructura, y la naturaleza de los suelos de Bogotá, las fundaciones del viaducto elevado deben ser profundas.

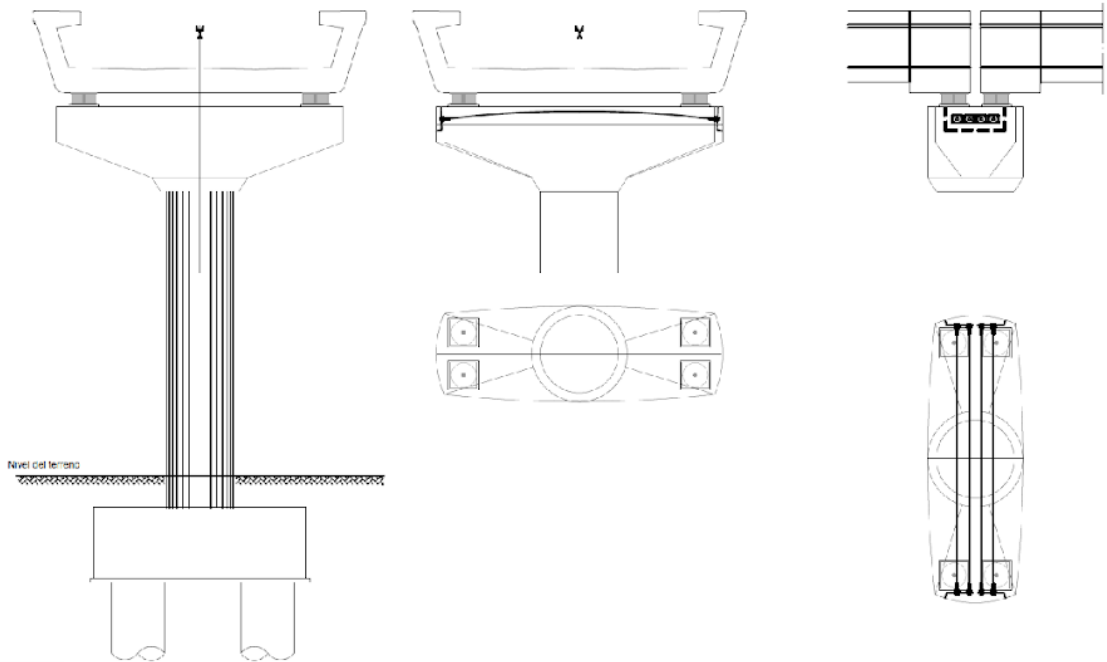


Ilustración 6 - capitel de pila típico

10.8.3.4. DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS CONSTRUCTIVOS DEL VIADUCTO ELEVADO

10.8.3.4.1. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE LA SUBESTRUCTURA

A continuación, se describen los procedimientos constructivos a aplicar para la ejecución de los diferentes elementos que conforman la subestructura del viaducto elevado.

10.8.3.4.1.1. Fundaciones

Dada la magnitud de las fuerzas transmitidas a la cimentación, y la mala calidad de los terrenos en que se asienta la ciudad de Bogotá y por los que circula la línea, (suelos aluviales o lacustres), se recurre a fundaciones profundas de concreto reforzado colado in situ en la totalidad de apoyos del viaducto elevado a lo largo de la traza.

- Pilotes

Se proponen pilotes circulares perforados de diámetros comprendidos entre los 1.20 m y los 2.00 m.

Los métodos de realización de pilotes perforados son muy diversos y dependen de las condiciones particulares de cada emplazamiento:

- Pilotes perforados entubados;
- Pilotes excavados bajo fluido de perforación;
- Pilotes perforados con hélice continua.

- Puede llegar a realizarse un pilote con perforación discontinua en seco si las condiciones del suelo lo permiten.

Estos métodos se eligen por otra parte en función de los métodos de perforación utilizados:

- Hélice montada en Kelly telescópico para perforación discontinua entubada y/o colada;
- Cuchara de cable suspendida circular con perforación discontinua bajo fluido de perforación (y eventualmente entubada para las cucharas circulares), aptas para suelos granulares y cohesivos;
- Perforadora de circulación inversa con “air lift” y entubado con perforación continua de los pilotes;
- Perforadora de tipo hélice continua para perforación continua de los pilotes;
- Martillo de fondo de pozo en circulación directa y/o inversa con/ sin entubado para perforación continua de los pilotes.

En Bogotá típicamente se realizan pilotes excavados bajo fluido de perforación. En efecto, y dada la naturaleza de los suelos blandos, no se pueden mantener las paredes del pozo de excavación sin entibación, y por ello se utilizan lodos bentónicos que, gracias a su propiedad tixotrópica, ayudan a evitar los derrumbes del terreno.

Una vez la perforación realizada, se instala la jaula de ferralla y el concreto se coloca en condiciones húmedas con un tubo *tremie* el cual puede ser:

- Independiente instalándose después de equipar el pilote con la jaula de armadura;
- O bien integrado a la herramienta de perforación, colocándose la jaula de armadura después del colado en el caso de hélice continua.



Ilustración 7 - Hélice continua con tubo

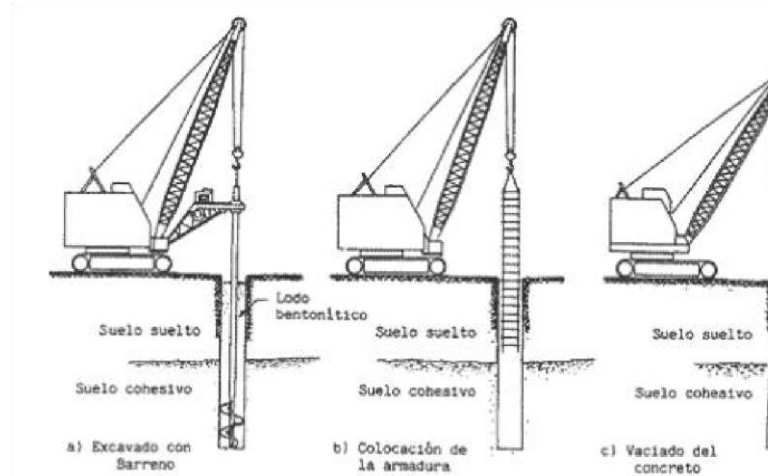


Ilustración 8 - Fases de ejecución de un pilote perforado con lodos tremie

- Dado de fundación

Una vez ejecutados los pilotes de una cimentación, hace falta construir el dado de esta. Para ello es necesario llevar a cabo las siguientes tareas:

- Excavación para ejecución del dado, que puede ser abierta o en recinto de tablestacas para disminuir superficie ocupada;
- Descabezado de pilotes;
- Extendido y compactado de capa de 10 cm de espesor de concreto de forma;
- Instalación de jaula de armadura del dado, incluidas las barras de espera para el fuste de la pila;
- Colado del dado;
- Una vez se haya construido la parte inferior de la columna se puede cerrar la excavación.

A continuación, se esquematizan las fases de construcción de un dado.

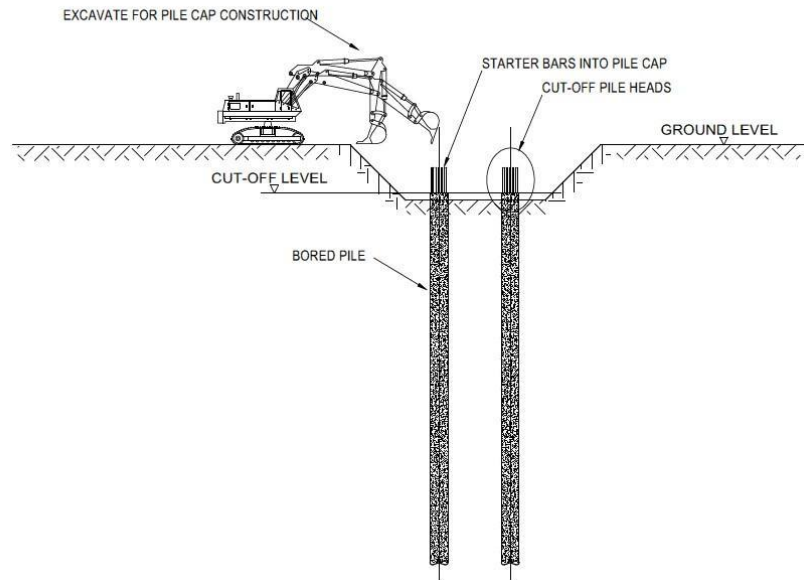


Ilustración 9 - Excavación del dado y descabezado de pilotes

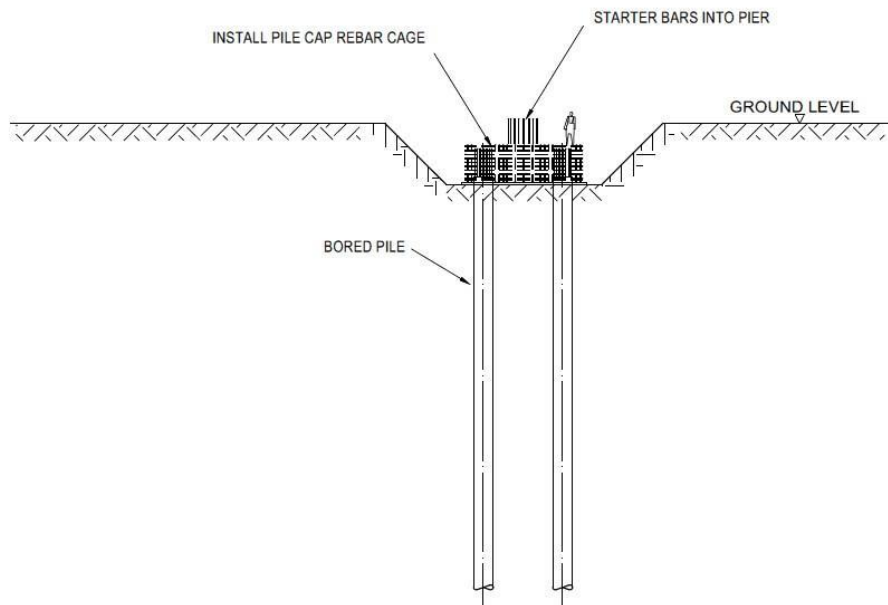


Ilustración 10 - Instalación de jaula de armaduras del dado y de barras en espera para la pila

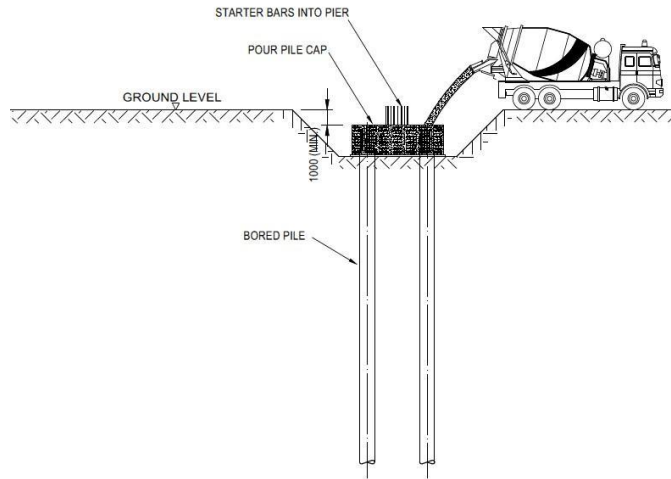


Ilustración 11 - Colado del dado

- Impacto durante obra

Será necesario prever zonas para instalar los tanques de lodos, las mangueras, las grúas, la zona de acopio de las armaduras de los pilotes (gran número de barras HA32mm de 12 m de longitud), parque para el montaje de las jaulas de ferralla.

Para un dado de una fundación de una pila tipo una de anchura aproximada de 8 m, será necesario considerar una zona de trabajo de entre **15 y 20 m**:

- 10 m de excavación;
- 5 m para zona de acopio de materiales a un lado;
- 5 m para acceso de camiones al otro.

En la siguiente figura se esquematiza lo dicho.

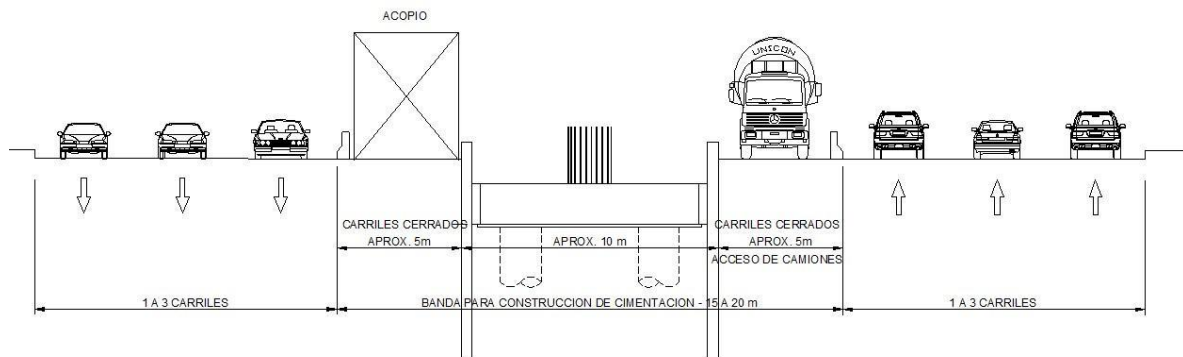


Ilustración 12 - Zona de trabajo necesaria para ejecución de cimentaciones

10.8.3.4.1.2. Rendimiento de ejecución de cimentaciones

Para una cimentación profunda tipo con cuatro pilotes se plantea el siguiente rendimiento:

- 12 días para ejecución de pilotes
- 1 día para la instalación de pantallas de tablestacas
- 1 día para excavación
- 1 día para descabezado de pilotes
- 0.5 días para exploración de fondo de excavación y colado de capa de forma
- 0.5 días para instalación de moldes
- 2 días para instalación de jaula de ferralla
- 1 día para el colado

Total: 12 días para la totalidad de los pilotes + 7 días para el dado.

Viaducto estándar: pila con capitel excéntrico + **Viaducto especial:** pila central y laterales

Para una cimentación profunda tipo con seis pilotes se plantea el siguiente rendimiento:

- 18 días para ejecución de pilotes
- 1 día para la instalación de pantallas de tablestacas
- 1 día para excavación
- 1 día para descabezado de pilotes
- 0.5 días para exploración de fondo de excavación y colado de capa de forma
- 0.5 días para instalación de moldes
- 2 días para instalación de jaula de ferralla
- 1 día para el colado

Total: 18 días para la totalidad de los pilotes + 7 días para el dado.

Por lo tanto, en la tarea más larga en la ejecución de una cimentación y que forma parte del camino crítico son los pilotes.

10.8.3.4.1.3. Pilas tipo

Las pilas tipo del viaducto elevado constan de una columna y de un capitel que soporta los tableros gran U. A nivel del Proyecto, el Consultor considera que las pilas se construyen coladas in situ en su totalidad, aunque existe la opción de prefabricar el capitel en el parque de prefabricación e instalarlo mediante grúa.

- Columnas

Las columnas de las pilas del viaducto estándar son circulares con diámetros comprendidos entre los 2.00 m y 2.40 m dependiendo de la altura del viaducto y de la zona geotécnica atravesada.

Las columnas se construyen coladas in situ encofrados en toda su altura, ya que ésta normalmente se sitúa entre los 8 y 14 m. Así pues, serán necesarias de dos a cuatro puestas de unos 4-5 m.

Si se hace la hipótesis de que se tarda 0.5 días en realizar cada puesta, incluyendo el desmontaje y reinstalación de moldes, el plazo estimado para la ejecución de una columna es de **5 días**:

- 0.5 días para instalación de la estructura de andamiaje y encofrados;
- 1 día para la instalación del acero de refuerzo y el vaciado completo de la columna;
- 3 día de espera antes del desmoldare para que el concreto adquiera resistencia suficiente;
- 0.5 día para desmontaje y traslado de encofrado y moldes a siguiente emplazamiento.



Ilustración 13 - Construcción de fustes de pila para viaducto de metro

- Capitel

1) Capitel colado in situ

Una vez construida la columna, el capitel se construye colado in situ sobre una cimbra especial que normalmente se apoya sobre el terreno vía una estructura de andamiaje o de soportes especiales a ambos lados del fuste.



Ilustración 14 - Construcción de capitel colado in situ sobre cimbra apoyada en el suelo

En caso de que existan restricciones de ocupación del suelo debajo, o si la altura de pila no es considerable, se puede recurrir a una cimbra que se sujete a la coronación de la columna mediante unos brackets, tal y como se muestra en la imagen a continuación.



Ilustración 15 - Capitel colado in situ sobre cimbra soportada por brackets (metro de Ho Chi Minh)

El ciclo estimado para la construcción de un capitel de pila es de **12 días**:

- 1 día para la instalación de la estructura de andamiaje, cimbra y moldes;
- 1.5 días para la instalación de la jaula de ferralla, que viene premontada;
- 0.5 días para el colado del capitel;
- 7 días de fraguado del concreto
- 1 día para el enfilado de los cables de postensado (1era fase) y el primer tensado de cables;
- 1 día para desmontaje y traslado de la cimbra.

Las tareas de instalación de los aparatos de apoyo y del tensado final de los cables del capitel se pueden sacar del ciclo ya que pueden ser llevadas a cabo por equipos diferentes posteriormente a la ejecución de la pila, pero antes de la construcción del tablero.

Impacto durante obra

Durante la construcción de las pilas es necesario ocupar una franja del terreno a nivel de calle de anchura también considerable, aunque menor que en el caso de las fundaciones ya que se habrá cerrado la excavación.

Dicha anchura puede estimarse del orden de **10 a 15 m**.

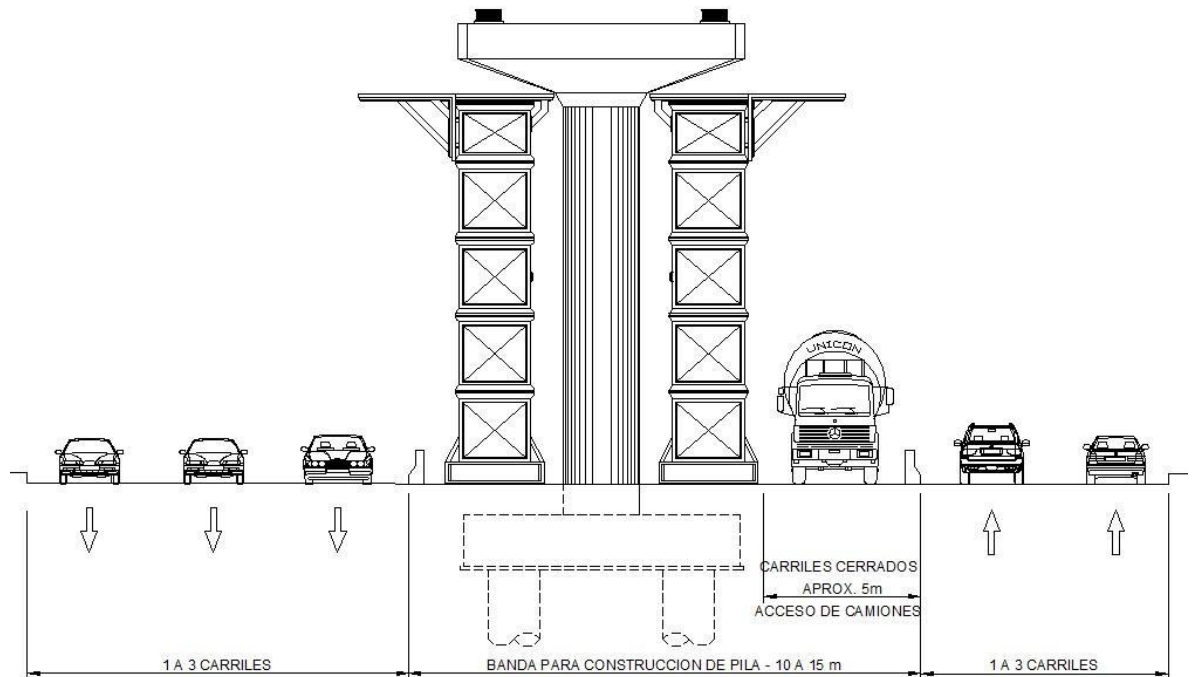


Ilustración 16 - Zona de trabajo necesaria para ejecución de pilas



Ilustración 17 - Perímetro de obra para construcción de pilas (metro de Hanói)

2) Capitel prefabricado

Un método de construcción alternativo para capiteles, que ya ha sido empleado en otras obras similares, consistiría en prefabricarlos en un área de prefabricación, transportarlos a la obra mediante tráileres, e instalarlos sobre la columna con una grúa. La conexión columna-capitel se ejecutaría in situ, así como la instalación y tesado del pre esforzado del capitel.

Con esta opción el ciclo se reduce, y se evita disponer costosas cimbras para el colado in situ, aunque por otro lado es necesario contar con una grúa móvil capaz de izar y colocar una masa de unas 60 a 90 toneladas con un radio aproximado de 10 m. Dado que el desplazamiento de una grúa de tal capacidad por la obra conllevaría cortes de tráfico constantes, la instalación de los capiteles prefabricados sobre las columnas es deseable que se lleve a cabo en turnos de noche. Por otro lado, es necesario tener en cuenta los costes de transporte dado el número de elementos a poner en obra.

Dado que la fabricación del capitel se saca del ciclo, la puesta en obra completa de un capitel prefabricado puede estimarse en **3-4 días**:

- 1 día para la instalación del collar metálico de soporte del capitel prefabricado en coronación de pila, y para la colocación del capitel con grúa;
- 1 día para el ajuste del posicionamiento del capitel, y para el colado de la conexión con la columna;
- 1-2 días para el enfilado y puesta en tensión de los cables de postensado, dependiendo de la velocidad con la que se desarrolle la resistencia de la conexión in situ capitel-columna. También para el desmontaje del anillo.
- De cara a la estimación de recursos constructivos y plan de obra, se va a considerar que los capiteles de las pilas tipo se ejecutan colados in situ.



Ilustración 18 - Instalación de capitel prefabricado sobre anillo de posicionamiento

10.8.3.4.1.4. Soportes especiales

- Pilas con capitel excéntrico

En los casos en los que la traza se desvía ligeramente del eje de la mediana central, y en el caso en que la distancia del eje del trazado al eje de la columna del soporte no sea superior a 1.0 m, se puede disponer un tipo de pila especial con capitel llamado “excéntrico”.

El procedimiento constructivo de un soporte de este tipo es similar al descrito anteriormente para las pilas tipo.

Se construye por tanto cimbrado y colado in situ en su totalidad, como se muestra a continuación. El plazo total de ejecución (columna + capitel) se puede estimar en **22-27 días**.

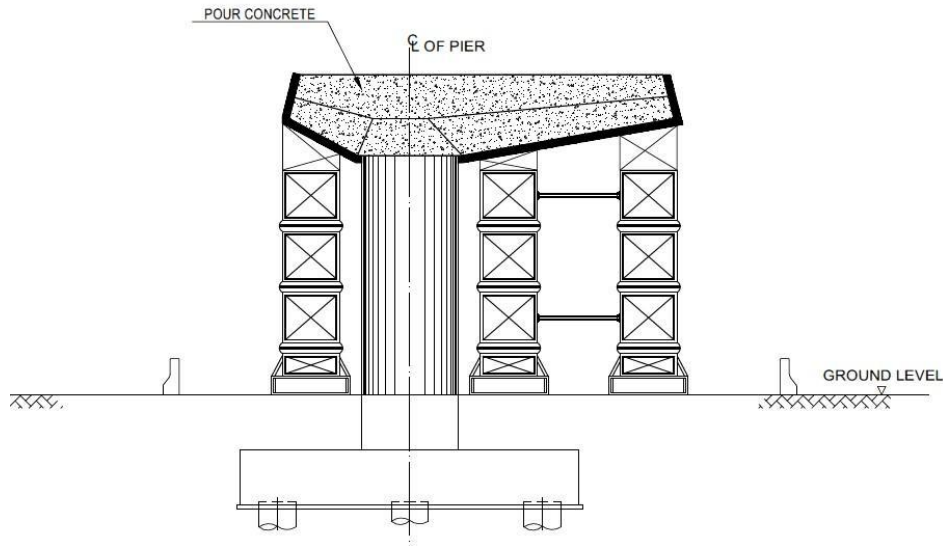


Ilustración 19 - Croquis mostrando procedimiento de ejecución de capitel excéntrico

Dado que el capitel excéntrico soporta el viaducto cuando la traza se desvía de la mediana central, será necesario prever cierres puntuales de carriles en la zona afectada para el montaje de la cimbra soporte de los moldes.

- Pórticos

En los casos en los que la traza se desvía del eje de una calle para tomar otra, normalmente se producen cruces de gran esviaje y longitud considerable (≈ 100 m), sobre zonas con tráfico donde no se pueden situar directamente pilas tipo.

En estos casos se recurre a apoyos tipo pórtico para soportar el tablero, con una de las columnas situada en la mediana central y otra de las columnas situada en la acera de la calle o avenida. La luz máxima que pueden salvar (distancia entre ejes de columnas), está en torno a los 25 m.

Las columnas se construyen por los métodos ya mencionados. La construcción del dintel depende del tipo de pórtico.

1) Pórticos de hasta 18 m de luz

Se trata de un pórtico con dintel de concreto reforzado, de canto constante, y esta rígidamente conectado a las columnas.

El dintel del pórtico es una viga trapezoidal de concreto reforzado de 2.0 m de canto que se ejecuta in situ sobre cimbra porticada dispuesta sobre el terreno. Esta rígidamente conectado a las columnas.

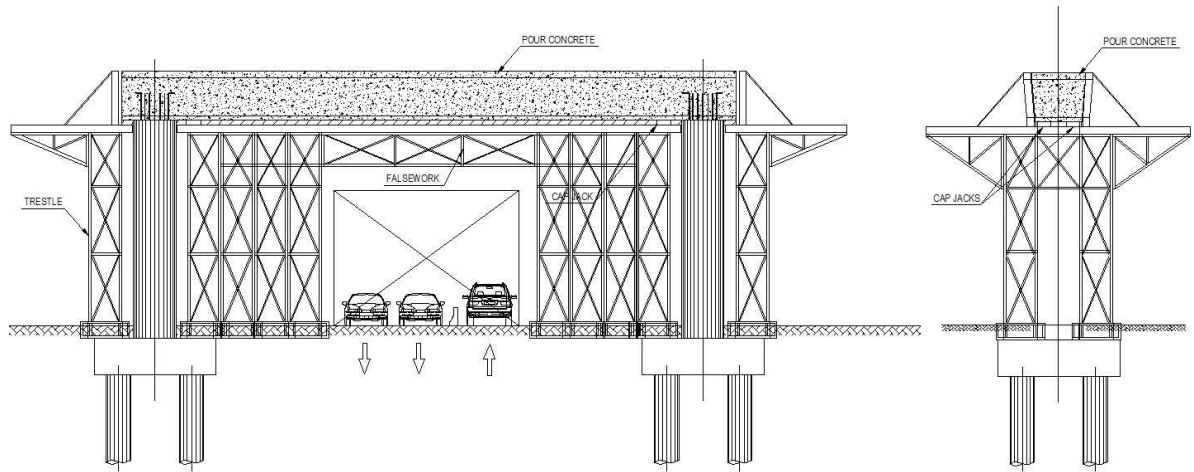


Ilustración 20 - Croquis mostrando procedimiento de ejecución de pórtico $L < 15$ m

De cara a minimizar el cierre de carriles e impactar lo menos posible al tráfico rodado en la zona de ejecución del pórtico, es conveniente disponer de cimbras porticadas que permitan el paso de vehículos bajo las mismas.

El plazo de ejecución de un pórtico de este tipo puede estimarse en **27 días**:

- 15 días para ejecución de las columnas con un solo equipo;
- 5 días para la instalación de la cimbra;
- 4 días para instalación de la jaula de ferralla y colado;
- 2-3 días para desmontaje de cimbra.

2) Pórticos de 18 a 25 m de luz

Para luces mayores de 18 m el dintel es postensado, y está parcialmente empotramiento en las columnas.

Se idea un procedimiento constructivo con la idea de no transmitir todas las fuerzas horizontales de carácter permanente a las columnas debidas al tesado de los cables de postensado. Es por eso que son previstas dos fases de presfuerzo.

El dintel está constituido de una viga postensada de 2.20 m de canto máximo que se construye colada in situ a nivel del suelo. Una vez el concreto ha alcanzado la resistencia suficiente, se enflan y ponen en tensión los cables de postensado de primera fase.

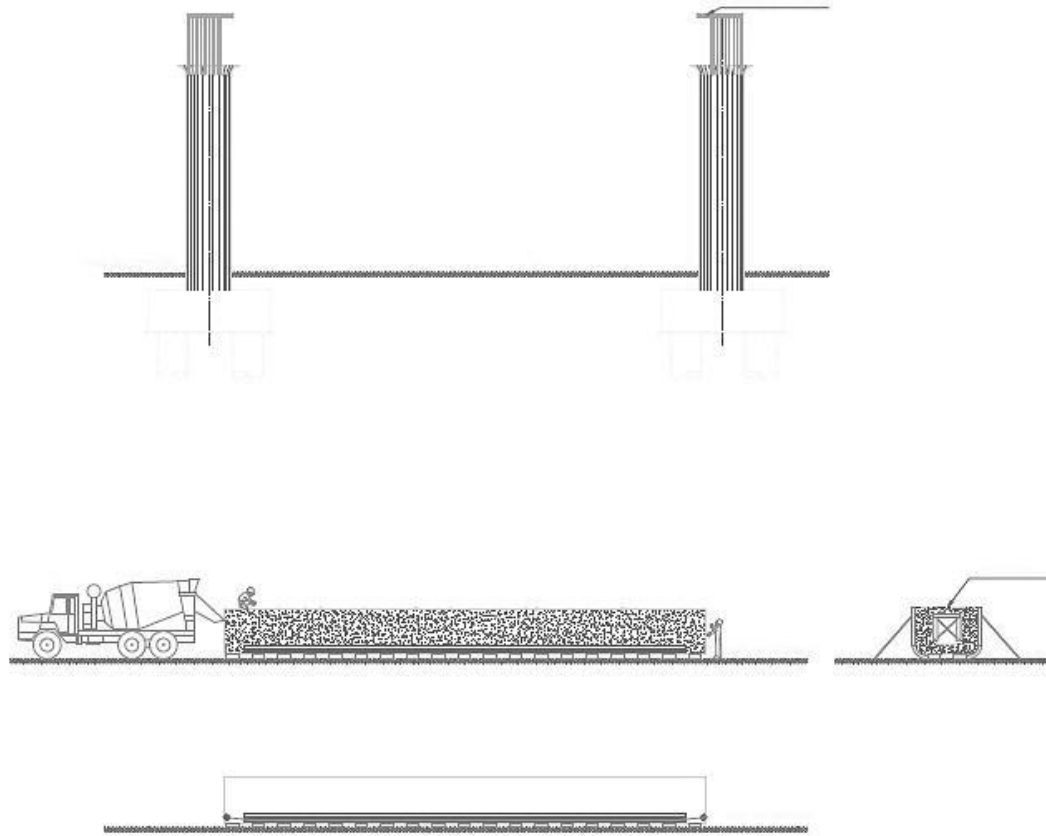


Ilustración 21 - Ejecución de pilas y de dintel de pórtico $18 m < L < 25 m$

La viga se iza y coloca mediante una grúa sobre las columnas ya construidas. En esta situación, la longitud de apoyo de las vigas sobre las columnas es de unos 35 cm medidos según el eje de la viga.

Posteriormente, se procede a la instalación de los moldes de encofrado y al colado de los nudos de conexión del dintel con las columnas. Para ello se han dejado armaduras verticales de espera en cabeza de las columnas, así como cercos de conexión en los extremos de la viga.

Después se instalan las barras de refuerzo superiores y se cuela la losa sobre la viga de 30 cm de espesor. Así, el canto total del dintel resultante es de 2.50 m. Cuando el concreto haya adquirido resistencia suficiente, es posible tesar los cables de prefuerzo de segunda fase. La estructura ya presenta una configuración hiperestática.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003 _VA

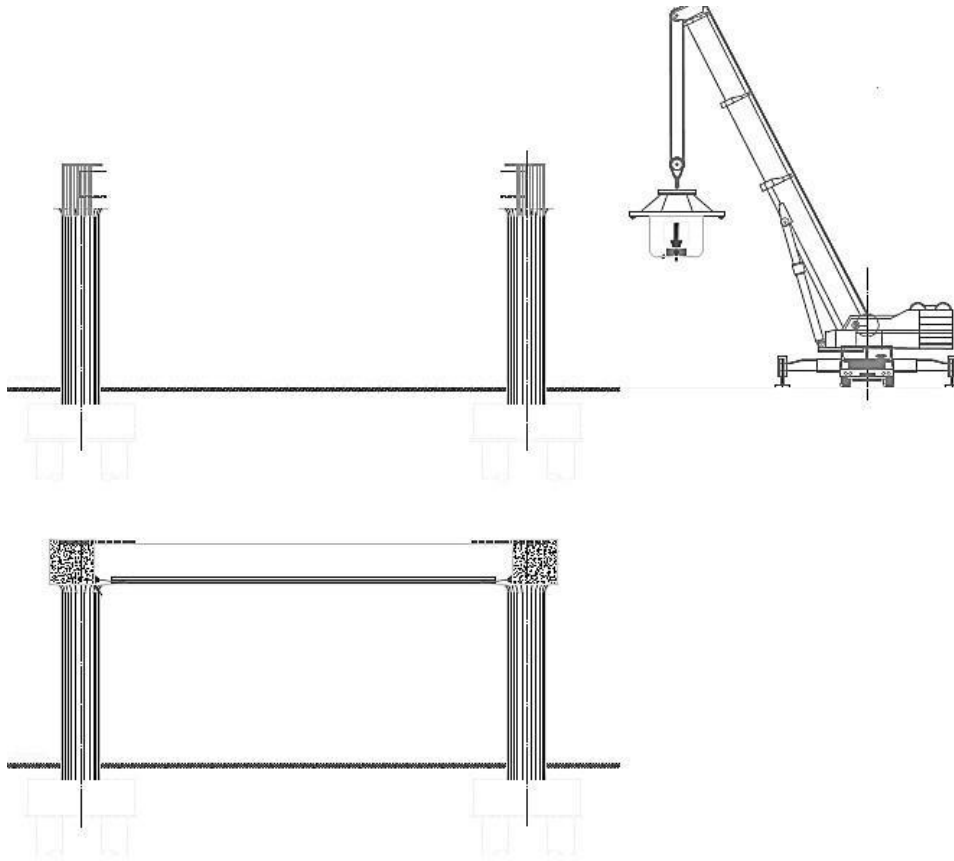


Ilustración 22 - Instalación de la viga prefabricada mediante grúa

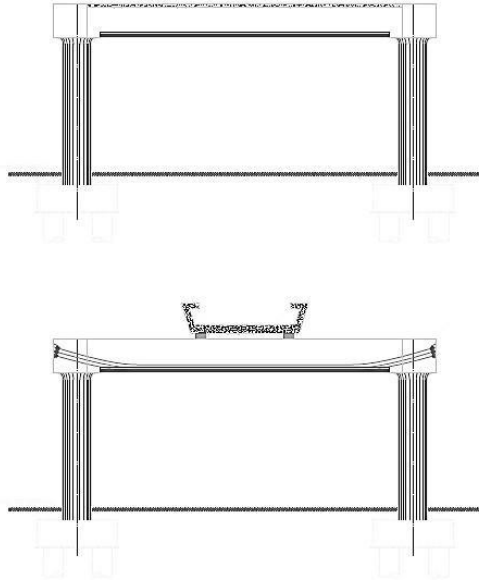


Ilustración 23 - Colado in situ de nudos de conexión de dintel con columnas y de losa superior

Por último, se instalan las vigas gran U mediante el procedimiento estándar con viga lanzadora. Las vigas gran U apoyan en el dintel sobre aparatos de apoyo del tipo LRB, por lo que quedan aisladas sísmicamente.

El plazo de ejecución de un pórtico completo de este tipo se reduce a **33 días**:

- 15 días para ejecución de las columnas con un solo equipo;
- 10 tiempo de fraguado;
- 5 días para fabricar la viga sobre el terreno y primer tensado de cables al mismo tiempo que se construyen las columnas.
- 1 noche para la instalación de la viga sobre las columnas mediante grúa
- 1 día para la instalación de la cimbra y moldes de encofrado para ejecución de parte del dintel colado in situ.
- 1 día para el colado de los nudos de conexión del dintel con las columnas.
- 1 día para el colado de la losa.
- 0.5 días para la retirada de equipos
- 1 día para el segundo tensado de cables (5días después del colado del concreto del nudo).

La gran ventaja de este procedimiento constructivo es que el impacto de las obras bajo el pórtico durante la construcción del dintel es muy reducido, ya que no es necesario instalar una cimbra.

10.8.3.4.2. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE LA SUPERESTRUCTURA

A continuación, se describen los procedimientos constructivos a aplicar para la ejecución de los diferentes tipos de viaducto elevado, tanto estándar como no estándar.

10.8.3.4.2.1. Viaducto estándar

La tipología de viaducto estándar finalmente retenida es la sección gran U formada por una única viga que soporta las dos vías del metro elevado. Se configura en vanos isostáticos de hasta 35 m de luz entre ejes de pilas, simplemente apoyados sobre aparatos de apoyo de neopreno zunchado de núcleo de plomo.

El procedimiento constructivo consiste en el **montaje vano a vano mediante viga lanzadora y dovelas prefabricadas**.

Se trata de un método constructivo perfectamente adaptado al contexto urbano de Bogotá, ya que se independiza totalmente ejecución de los tableros del suelo. Así, una vez finalizada la construcción de la subestructura, se puede restituir una buena parte del tráfico en el tramo de avenida por la que discurre la traza del metro (siempre será necesario prever cada cierta distancia alguna zona de acopio de dovelas bajo la sombra del viaducto).



Ilustración 24 - Montaje del tablero gran U del metro de Ho Chi Minh mediante viga lanzadora

- Prefabricación de dovelas

Las dovelas que conforman los vanos gran U se fabrican en un parque de prefabricación que habrá que montar en algún lugar de Bogotá no demasiado alejado de la traza de la L2MB.

Esta fábrica podrá ser construida desde cero exprefeso para la construcción de la L2MB, o bien una planta de prefabricados de concreto existente podrá adaptar su planta a los requerimientos del Proyecto.

La prefabricación se lleva a cabo por el sistema de **dovelas conjugadas**. Esto consiste en colar cada dovela utilizando como molde de la cara de junta la dovela anteriormente colada.

Para ello se empieza por fabricar una de las dovelas de pila, y a partir de ella el resto de las dovelas que forman un vano. Así, por ejemplo, la cara frontal de la dovela 1 servirá de molde para la cara dorsal de la dovela 2.

La primera dovela que hay que ejecutar es una de las dovelas de pila, cuyo colado se realiza en un molde distinto al de las dovelas estándar, ya que la geometría de la sección es ligeramente diferente. Además, en el molde de la

dovela de pila existe un encofrado para la cara dorsal, ya que al no existir dovela anterior a la de pila para hacerla conjugada en banco corto, hay que realizarla contra un encofrado.

Se utilizan dos tipos de líneas de fabricación de dovelas:

- **Banco corto** para vano en curva y dovelas de pila
- **Banco largo** para vano recto

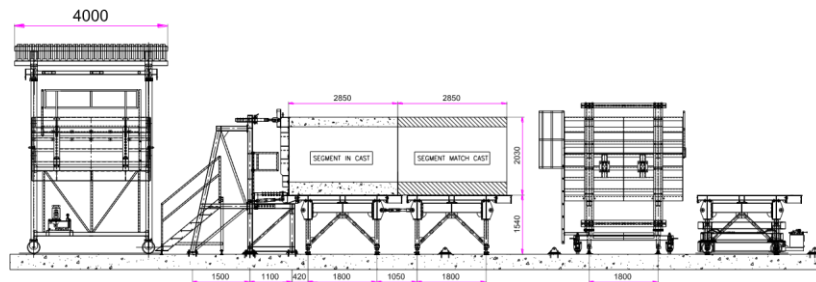


Ilustración 25 - Croquis mostrando banco corto



Ilustración 26 - Banco corto y molde para dovela de pila

Al lado de los bastidores que soportan los encofrados y moldes de las dovelas se dispone un taller de preparación de las jaulas de refuerzo.

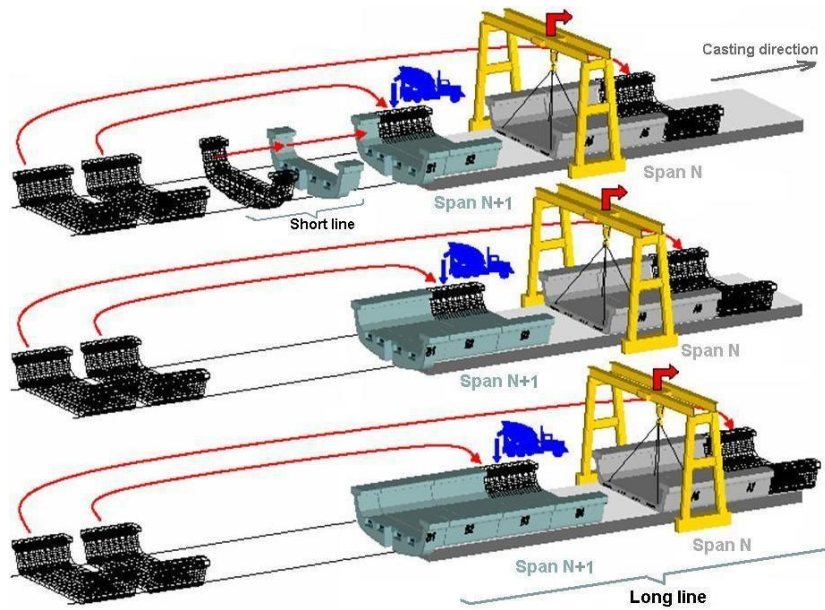


Ilustración 27 - Croquis mostrando banco largo

El molde para la fabricación de las dovelas se denomina **célula de prefabricación**. Ésta consiste en un encofrado al que le falta la cara dorsal. En la célula de prefabricación se encuentra, en primer lugar, la máscara, que es la cara frontal del molde. En ésta se disponen los agujeros necesarios para el trazado de los ductos de pretensado, y los resaltes que conforman las llaves múltiples para absorber las fuerzas de corte en la junta.

La célula de prefabricación se completa con el molde interior que está sujeto entre la máscara y la dovela conjugada y que es abatible y replegable para permitir el desencofrado y movimiento de extracción de una dovela, una vez que ésta ha endurecido lo suficiente.

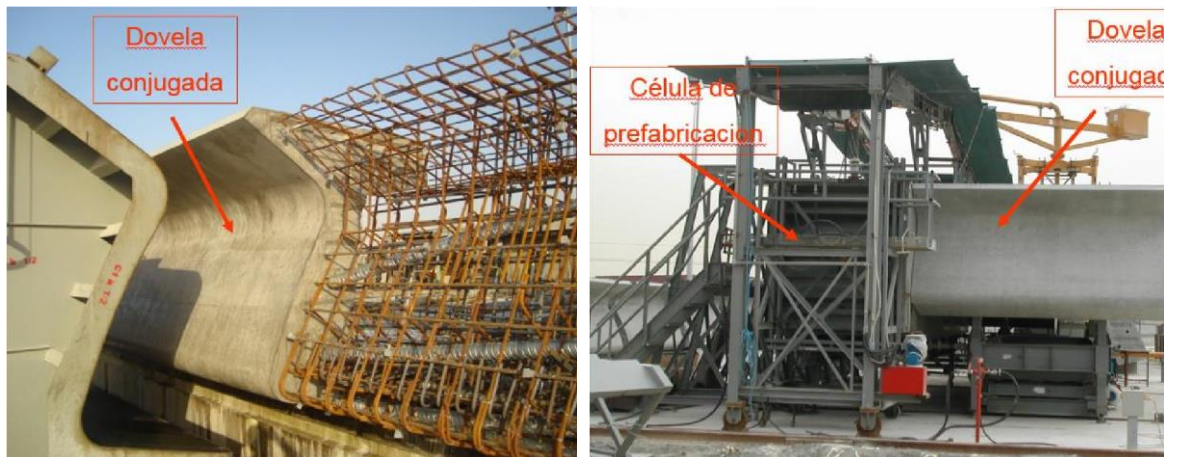


Ilustración 28 - Célula de prefabricación de dovela estándar

Además, la célula incorpora una tercera zona para la entrega de dovelas a un pórtico grúa sobre rieles, para su retirada a la zona de acopio.

En el parque de prefabricación se han de construir las dovelas de una forma tal que una vez ensambladas en el viaducto, den la forma prevista al mismo. Por ello se controla, en la célula de prefabricación, la posición de la dovela conjugada con respecto a la dovela que va a ser colada.

Esta posición relativa determina la forma en planta y alzado de la dovela que se va a fabricar, de tal modo que se va produciendo la forma de trazado proyectado para el viaducto.

El control se realiza moviendo la dovela conjugada que actúa de cara dorsal en el molde. El movimiento de esta dovela se realiza por medio de la central hidráulica descrita en el apartado anterior, y las magnitudes que han de tener estos movimientos se determinan con mediciones topográficas que se realizan en diferentes puntos de referencia tanto en la cara dorsal de la dovela conjugada como en la frontal de la dovela a fabricar.

Existe un control topográfico diferenciado para el control en planta, y otro para el control en alzado.

Tras el colado de la dovela, se ha de aplicar un curado al vapor en las condiciones apropiadas en la misma célula. Y una vez el curado al vapor finalizado, se ha de proseguir el curado húmedo durante unos días. La zona de curado húmedo se encuentra detrás de la célula de prefabricación. Asegurar un correcto curado de las dovelas es de extrema importancia de cara a evitar problemas de fisuración por retracción, así como para garantizar un desarrollo de la resistencia y las exigencias de durabilidad requeridas a la estructura.

El conjunto formado por la célula de prefabricación, el área de preparación de ferralla y zona de curado se conoce como **línea de producción**. Deben de estar cubiertas de cara a evitar la exposición a la humedad relativa ambiental, los cambios de temperatura, y el viento.

Detrás de las líneas de producción, se extiende la **zona de acopio** de las dovelas, normalmente al aire libre. Las dovelas son llevadas a la zona de acopio mediante el pórtico grúa sobre rieles desde la zona de curado detrás de la célula de prefabricación.

Las dovelas se pueden almacenar en uno o dos pisos. El acopio a doble nivel permite ganar espacio y reducir el área total del parque de prefabricación, ya que las dovelas han de permanecer un periodo aproximado de dos meses en el parque antes de ser transportadas a obra e instaladas mediante la viga lanzadora. Para el acopio de dovelas en dos pisos se deben tomar las precauciones necesarias, y la altura del pórtico grúa debe ser superior.



Ilustración 29 - Áreas de acopio de dovelas en parques de prefabricación

El parque de prefabricación se completa con las instalaciones auxiliares como la central de concreto, el taller de preparación de ferralla, las oficinas y otros locales técnicos, y un aparcamiento. Además, se han de disponer de vías de circulación entre líneas de producción de anchura suficiente para el paso de la maquinaria del parque (camiones de concreto, tráileres, etc.).

Para la fabricación de los tableros de la extensión de la extensión de la PLMB en los plazos estimados, la superficie requerida del parque que se ha estimado está en torno a las 2 a 3 ha.

Podrán montarse uno o varios parques, y será lógico que estén situados a las afueras de Bogotá.



Ilustración 30 - Vista aérea de parque de prefabricación para L4 de Metro de Santiago de Chile

- Transporte de dovelas

El transporte de las dovelas a obra se realiza mediante camiones equipados con remolque hidráulico de cama baja. El peso de las dovelas puede variar de 45 ton para una dovela tipo de vano estándar, hasta las 60 ton para las dovelas de pila central de los módulos continuos de dos vanos.



Ilustración 31 - Transporte de dovelas mediante remolques de cama baja

Es muy importante que se dispongan **zonas de acopio intermedias a poca distancia de cada frente de ejecución de tablero**. Se han previsto de 1 viga de lanzamiento, por lo que será necesario encontrar 1 terreno en las proximidades de la traza donde almacenar temporalmente las dovelas hasta ser transportadas para su instalación definitiva mediante el procedimiento descrito a continuación.

- Montaje mediante viga lanzadora

La viga lanzadora es una máquina que pesa unas 450 ton y mide unos 110 m de longitud (aproximadamente la longitud de 3 vanos tipo).

Las fases de las que consta el ciclo de montaje de un vano son las siguientes:

- Se posiciona la viga lanzadora apoyada sobre la pila frontal del tramo a construir y el tramo contiguo ya construido.
- Se realiza la izada dovela por dovela con ayuda de un guinche instalado en la viga lanzadora y se cuelgan sucesivamente a las barras atirantadas sujetas a la viga lanzadora.
- Posteriormente se aplica un adhesivo epóxico entre dovelas. Para mantenerlas fijas, se aplica una compresión uniforme tensando barras temporales.
- Se realiza el primer enfilado de cables de postensado y la primera fase de puesta en tensión para la carga de peso propio.
- El vano completo se desciende descolgándose las dovelas de la viga lanzadora, y queda apoyado sobre los capiteles de las pilas, transfiriendo así las cargas a la subestructura.
- La viga lanzadora se avanza hacia el vano siguiente para recomenzar el ciclo.
- Para finalizar el ciclo de montaje se realiza el enfilado de los cables restantes y la puesta en tensión final de postensado del vano (si esto fuera necesario).

Las dovelas prefabricadas se pueden suministrar directamente por tierra mediante camiones con remolques y ser acopiadas temporalmente sobre el terreno en la sombra del vano a construir. Este sistema implica un mayor movimiento de grandes camiones con remolque hasta el frente de avance cada semana, por lo que se debe estudiar muy bien la gestión del tráfico. Idealmente, el transporte de dovelas hasta la obra debería hacerse de noche.

Sin embargo, tiene como gran ventaja el garantizar que cuando la máquina llegue al vano a ser construido, todas las dovelas del vano estén preparadas bajo el mismo listas para ser izadas. Es por ello por lo que se elimina cualquier riesgo de empeorar el rendimiento de montaje.

Se debe prever una grúa móvil que desplace las dovelas desde el camión hasta la zona de acopio temporal en la traza.

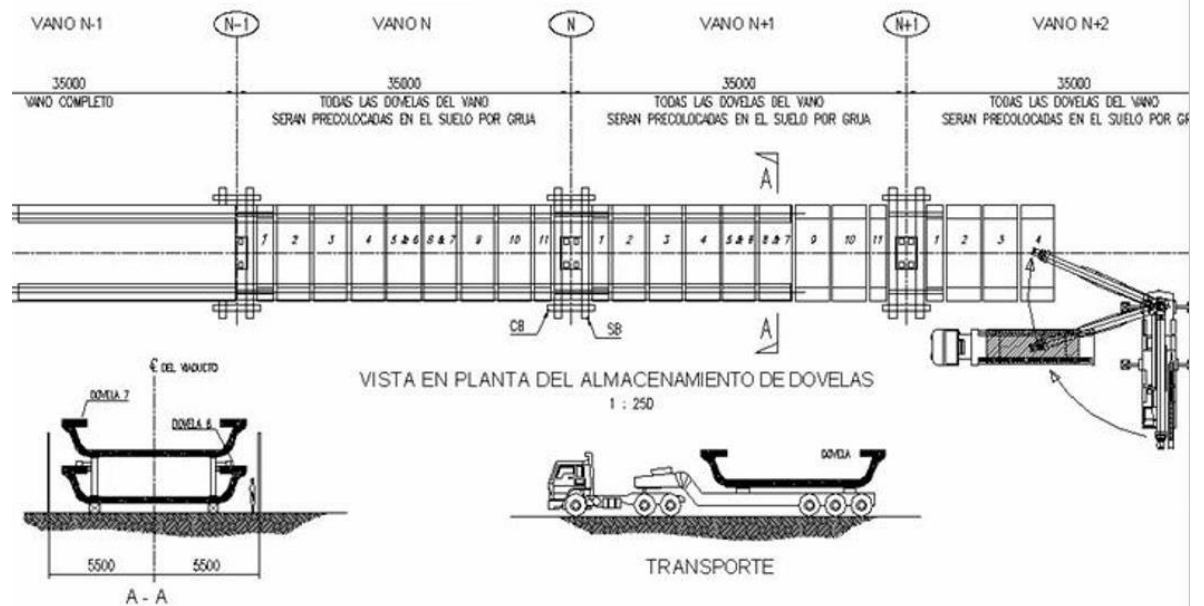


Ilustración 33 - Suministro de dovelas hasta frente de obras mediante camiones



Ilustración 34 - Acopio de dovelas bajo viaducto

La duración de un ciclo completo, con las dovelas previamente suministradas mediante camiones y acopiadas a pie de obra, se estima en **3.5 días**:

- Avance de la viga lanzadora: 10 horas
- Izado de segmentos: 8 horas
- Aplicación de adhesivo epóxico y tensado de barras temporales: 10 horas
- Enfilado y primer tensado de los cables de postensado permanentes: 6 horas

- Descenso del vano sobre pilas: 1 hora
- Segundo tensado de los cables: 3 horas

Otra opción posible para los casos en que el viaducto elevado discorra por avenidas que soportan un tráfico importante, o por las cuales discorra una troncal de Transmilenio (Av. Caracas), es el suministro de dovelas directamente sobre los tableros ya construidos. Así, las dovelas se transportan por carretera hasta un punto de fácil acceso y descarga al inicio del frente de obra, se izan mediante grúa, y se transportan por los vanos gran U ya ejecutados hasta el vano a ejecutar mediante una grúa elefante o algún dispositivo de transporte equivalente que circule sobre neumáticos o rieles por la losa inferior de la viga gran U.

La gran ventaja de este método es un menor impacto al tráfico rodado mixto y de Transmilenio de Bogotá. Sin embargo, un posible inconveniente estaría relacionado con el ciclo de montaje de un vano tipo el cual podría ver ligeramente prolongado en función de la distancia entre el punto de suministro de dovelas y el punto de recepción de estas por la viga lanzadora.

Los frentes de obra asociados a una viga lanzadora son de 4 km aproximadamente. Suponiendo que el carro con ruedas que recoge y transporta las dovelas por el tablero hasta el frente de obra recorre esa distancia máxima, a una velocidad de 10 km/h, se puede estimar que, como mucho tarda 1 hora en cargar la dovela, hacer el viaje de ida, entregar la dovela al guinche de la viga lanzadora, y volver al punto de suministro de dovelas.

Así, el tiempo de suministro de dovelas a la viga lanzadora sería como máximo de 12 horas para un vano tipo de 35 m formado por 12 dovelas.

Se observa que el tiempo de suministro de dovelas aumenta unas 5 horas para el caso más extremo (con mayor longitud de transporte) con respecto a la opción de izar las dovelas suministradas mediante camiones en la vertical del vano a construir. Por otro lado, también es cierto que se podría simultanear la tarea de aplicación de adhesivo epóxico y tensado de barras temporales con el suministro de las dovelas finales del vano.

Una vez realizadas estas consideraciones, se puede estimar la duración de un ciclo completo, con las dovelas suministradas obra través del tablero ya construido:

- Avance de la viga lanzadora: 10 horas
- Suministro de dovelas a frente de obra y recepción por viga lanzadora: 12 horas
- Aplicación de adhesivo epóxico y tensado de barras temporales: 10 horas
- Enfilado y primer tensado de los cables de postensado permanentes: 6 horas
- Descenso del vano sobre pilas: 1 hora
- Segundo tensado de los cables: 3 horas

La duración del ciclo es de **4 días**

El segundo tensado de los cables de pre-esfuerzo así como el desmontaje de las barras temporales, se realizan una vez la viga lanzadora ha avanzado por un equipo diferente.

Una secuencia posible de montaje se presenta en los croquis a continuación. El detalle de la cinemática dependerá del modelo de la viga lanzadora en cuestión y del fabricante.

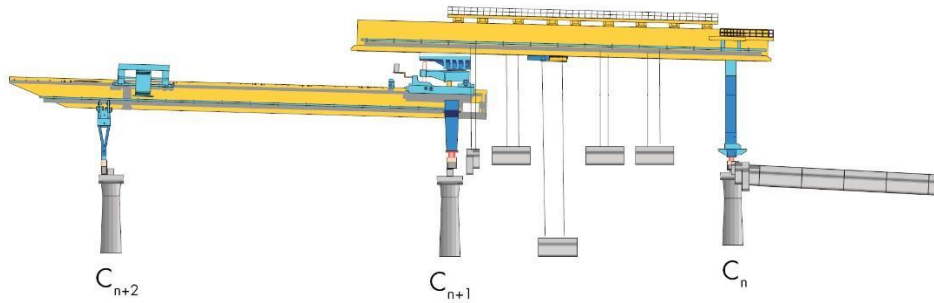


Ilustración 35 - Izado de las dovelas

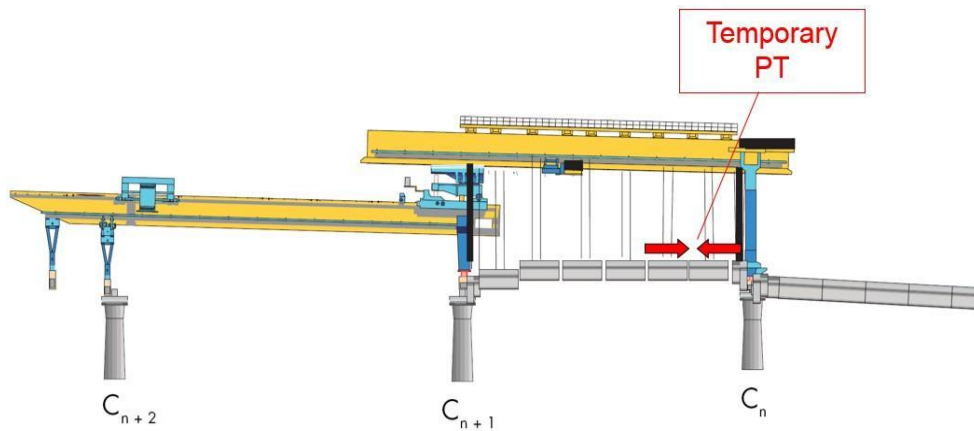


Ilustración 36 - Aplicación del adhesivo epóxico y tesado de barras temporales

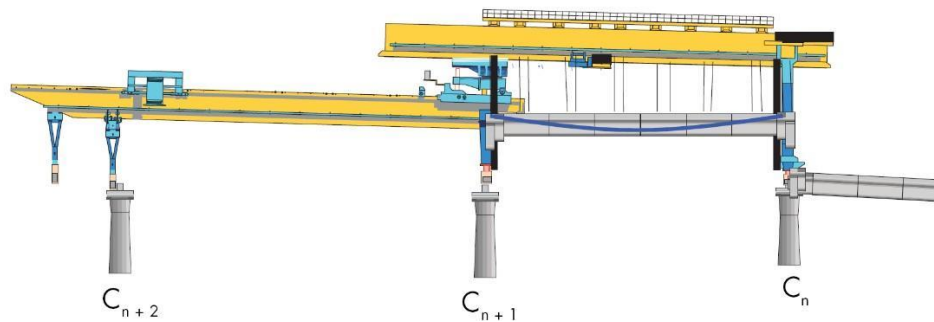


Ilustración 37 - Tensado de los cables de presfuerzo

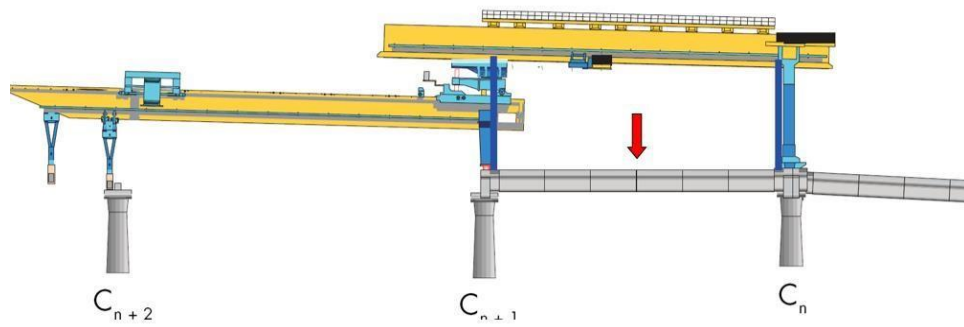


Ilustración 38 - Descenso del vano sobre pilas

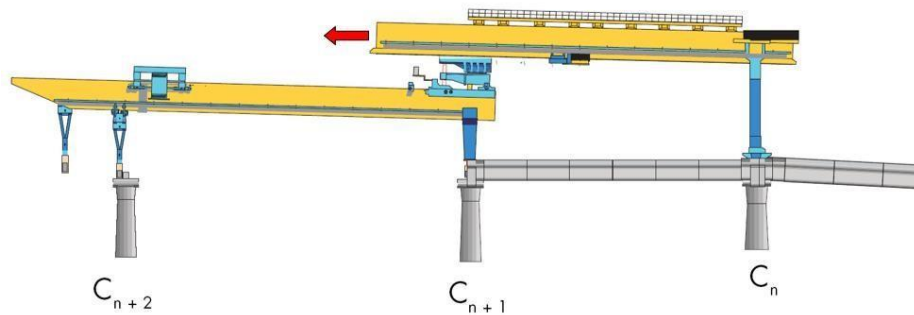


Ilustración 39 - Avance de la viga lanzadora, Fase 1: avance de la viga superior sobre la viga inferior (1)

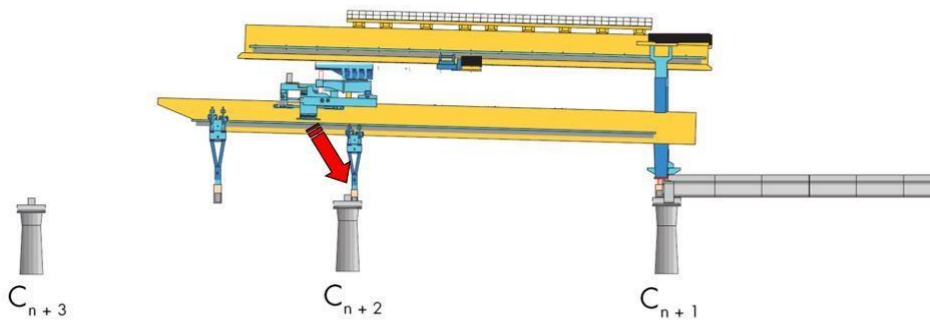


Ilustración 40 - Avance de la viga lanzadora, Fase 2: avance de la viga superior sobre la viga inferior (2)

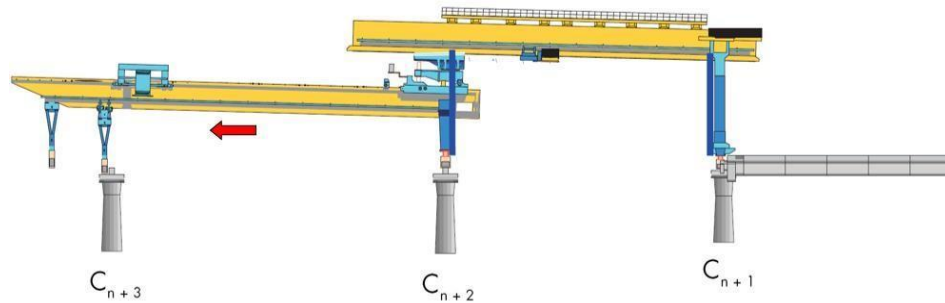


Ilustración 41 - Fase 3: avance de la viga inferior. Viga lanzadora lista para nuevo vano

A continuación, se muestran algunas imágenes tomadas la mayoría durante la construcción de la Línea 4 del Metro de Santiago de Chile, que ilustran el procedimiento constructivo descrito.



Ilustración 42 - Izado de dovelas mediante viga lanzadora

Como se puede observar, las dovelas se pueden izar agarradas por la losa inferior, o por las alas superiores sobre las almas. Será necesario dimensionar correctamente estos elementos en función del sistema retenido.

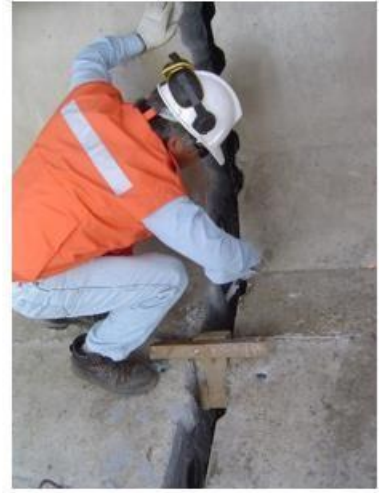


Ilustración 43 - Ensamblaje temporal de dovelas mediante barras de pre esforzado y aplicación de adhesivo epóxico



Ilustración 44 - Carro de apoyo de la viga lanzadora y sistema de avance sobre tablero



Ilustración 45 - Avance de la viga lanzadora a vano siguiente

10.8.3.4.2.3. Viaducto en zona de estación

El viaducto en zona de estación también es de tipología gran U, con una sección ligeramente diferente a la de los tramos entre estaciones de cara a adaptarse a los condicionantes de los andenes equipados con puertas de andén.

Se construye mediante la viga lanzadora al igual que los vanos entre estaciones, por ello se dice que el viaducto es “pasante”.

10.8.2 Estación elevada

10.8.2.1 Ubicación

De acuerdo al trazado establecido para la L2MB se proyecta la construcción de una estación elevada (estación Fontanar No. 11). La estación elevada se localiza en la calle 145 entre las carreras 141b y 145, de la ciudad de Bogotá.

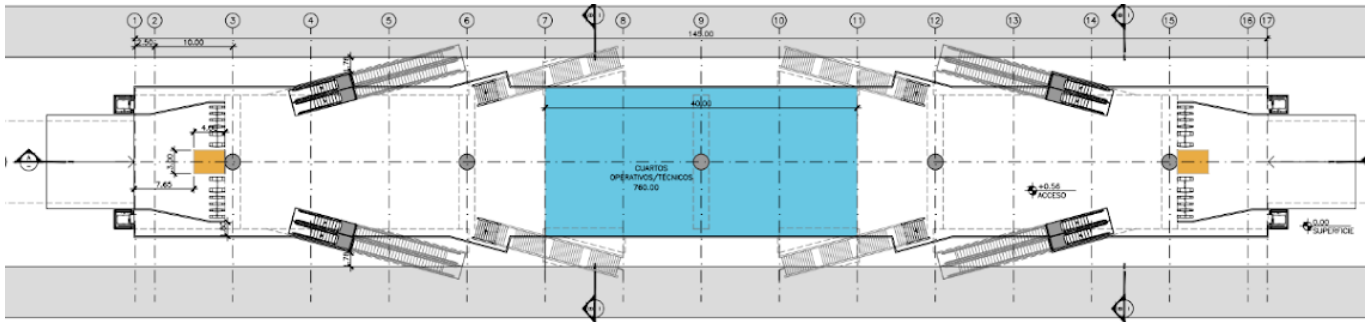
10.8.2.2 Descripción

A continuación, se describen las características generales de la estructura de la estación elevada:

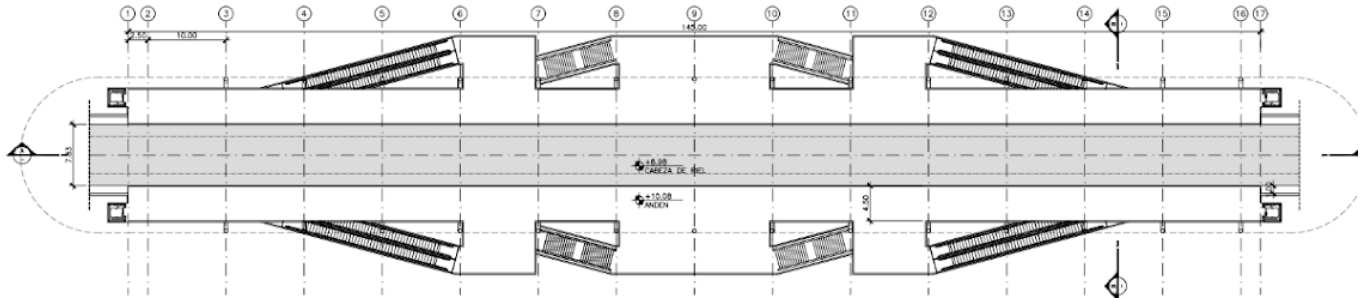
- La distancia de la estación a las edificaciones existentes adyacentes varía entre los 16 y 20 m, que se componen de torres residenciales de 12 pisos al costado sur, y casas unifamiliares de entre 2 y 4 pisos en el costado norte.
- El separador/plazoleta, con un ancho de 26.77m y un área de 12,000m², se extiende hacia el occidente y principalmente hacia el oriente (frente a la manzana correspondiente al Parque Fontanar del Río), de manera que se genera un importante espacio público de acceso a la estación.
- La estación posee dos plataformas laterales, con ancho libre de 4,50m. y largo útil de 140m. Las plataformas están ubicados en el nivel más elevado de la estación. Las escaleras fijas y mecánicas estarán puestas lateralmente, a lo largo del andén.
- Nivel de entrada al cuerpo de la estación, al nivel de superficie. Tendrá dos líneas de bloqueos control de pasajes y dos puertas de acceso, en cada una de sus extremidades.
- En la zona no paga están las máquinas de venta de billetes y cuartos operativos. A partir de la línea de bloqueos, se accede la zona paga y a los elementos de circulación vertical para subir a plataformas, compuesto de escaleras fijas y mecánicas y ascensores

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003 _VA



PLANTA NIVEL CALLE
1:200



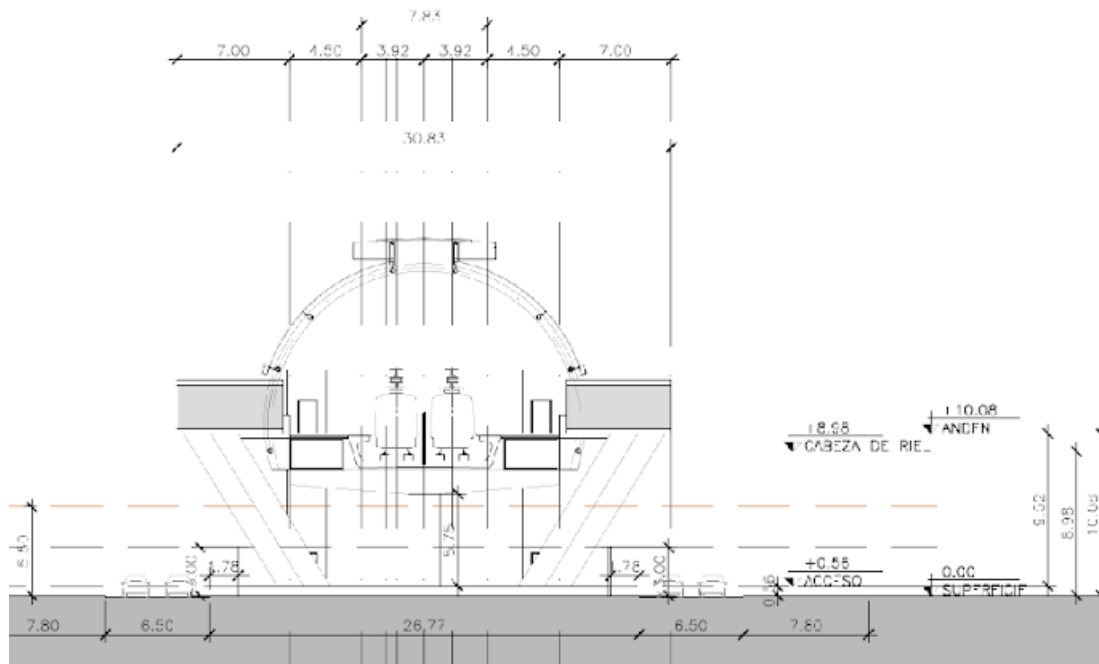


Ilustración 59 - Sección transversal de la Estación Elevada

La estación se estructura sobre capiteles extendidos, que sirven tanto para la vía (viga gran U) y para los elementos de estación

- La estructura de la cubierta de la estación se apoya sobre la viga cabezal y pila del viaducto
- La estructura incluye una viga cajón metálica de apoyo de los andenes
- La cubierta será de estructura y tejas metálicas con aislamiento termo acústico con un lenguaje similar al de las estaciones de PLMB. La estructura de la cubierta permite el soporte de las catenarias rígidas y puede extenderse para fuera de la estación en todo el tramo elevado.

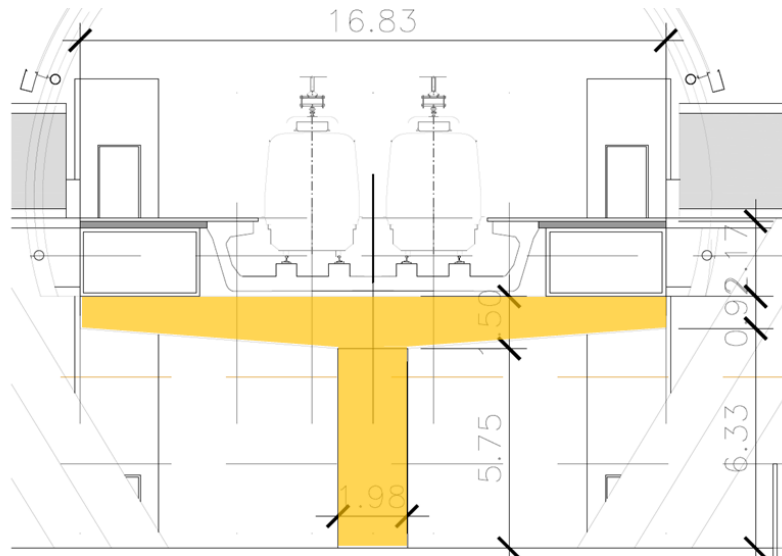


Ilustración 60 - Detalle de estructura del cajón y capitel extendido de la estación elevada

10.8.2.3 Requerimientos generales de diseño

Los elementos estructurales que conforman la estación elevada tienen la capacidad de resistir las solicitaciones de carga tales como: cargas vivas asociadas a la circulación de pasajeros, cargas vivas asociadas a la circulación de los trenes, cargas de equipos, cargas de viento sobre la cubierta y cargas sísmicas. El proceso de diseño estructural se realiza teniendo en cuenta los lineamientos de la normativa de referencia, nacional e internacional indicada en los criterios de diseño.

10.8.2.4 Metodología de diseño.

Para el análisis y diseño del sistema estructural de las estaciones, a nivel de factibilidad, se utilizan modelos estructurales simplificados, tales como modelos matemáticos en 2D o 3D y cálculos numéricos manuales mediante el análisis de diagramas de cuerpo libre de elementos aislados, garantizando una representación razonable de la estructura. A partir de estos modelos simplificados, se estimarán las dimensiones de secciones transversales y las densidades de acero de refuerzo.

10.8.2.5 propiedad de los materiales

Hormigón C35

- C35 ($f_{ck} = 35 \text{ MPa}$);
- $\rho_c = 2.500 \text{ kg/m}^3$;
- $a/c \leq 0,50$;
- $\alpha = 10^{-5}/^\circ\text{C}$;
- $\nu = 0,2$;
- $E_{ci} = 5,6 \times 351/2 = 33,1 \text{ MPa}$;
- $E_{cs} = 0,85 \times 33,1 = 28,2 \text{ MPa}$;

Acero de Refuerzo de Grado 60

- $f_y = 420 \text{ MPa}$;
- $f_y = 621 \text{ MPa}$;
- $\rho_s = 7,850 \text{ kg/m}^3$;
- $\alpha = 10^{-5}/^\circ\text{C}$;
- $E_s = 210 \text{ GPa}$;

Acero Presforzado de Grado 270 (baja relajación)

- $f_{yp} = 1675 \text{ MPa}$;
- $f_{up} = 1860 \text{ MPa}$;
- $\rho_s = 7,850 \text{ kg/m}^3$;
- $\alpha = 10^{-5}/^\circ\text{C}$;
- $E_s = 200 \text{ GPa}$;

Se hizo la estimación de las cantidades de obra estructural asociada a la construcción del túnel, así como las cantidades de obra relacionadas con la afectación de estructuras existentes. También se lleva a cabo un análisis estructural simplificado de las dovelas y se realiza un análisis de subsidencia para estimar la afectación a las estructuras existentes.

10.8.3 Anexos

Anexo 1 - Vista en Planta y elevación de Viaducto Elevado

Anexo 2 – secciones y detalles estructura viga Gran-U y capitel