

Distribuidor Vial Juárez-Serdán, Etapa 2

Procesos Constructivos

Francisco Xavier Osorio Escamilla¹

Walter Iván Paniagua Zavala²

*Ocorre con las ciudades como con los sueños: todo lo imaginable
puede ser soñado, pero hasta el sueño más inesperado es ser
acertijo que esconde ser deseo o bien su inversa, ser miedo.
Las ciudades, como los sueños, están contruídas de deseos
y miedos, aunque el hilo de su discurso sea secreto.*

Las ciudades invisibles
ITALO CALVINO

Introducción



El final del siglo XX ha sido testigo de un cambio sin precedente en los patrones de asentamientos humanos. Las ciudades y las sociedades de todo el mundo están experimentando una profunda transformación. Ciudades y ciudadanos presenciamos el proceso de urbanización más rápido y de mayores dimensiones de la historia. La gestión de dichas ciudades y la construcción de nuevos estilos de vida capaces de responder a las nuevas formas productivas y culturales plantea enormes retos, no solo por la acumulación de problemas funcionales, sociales y ambientales en los asentamientos humanos de nuevo tipo, sino porque nos encontramos ante procesos de transformación escasamente entendidos.

¹ Desarrollo Iberoamericano, S.A. de C.V.

² Pilotec, S.A. de C.V.



Plaza Estienne d 'Orves en Marsella (Francia)
Situación "antes" y "después" de la construcción de un estacionamiento subterráneo (ITA, 2000)

En este sentido, el empleo del espacio subterráneo tiene ventajas de por lo menos cuatro tipos: económicas, funcionales, sociales y ambientales (Jaime, 2002).

Algunas ventajas económicas son: permite tener una estructura urbana más compacta, con el subsecuente ahorro en inversión, operación y mantenimiento; es posible reservar el espacio superficial para actividades primarias como recreación, trabajo y vivienda, de usos secundarios como es el tránsito de vehículos, lo cual mantiene o incrementa el valor de la propiedad superficial.

Las ventajas funcionales de utilizar el subsuelo, entre otras, son: permitir un tráfico más fluido al no haber intersecciones de calles, incrementar la seguridad en la transportación (menos accidentes a peatones y usuarios), abrir nuevas vialidades.

Desde el punto de vista social, el uso del espacio del subsuelo permite mejorar la calidad de vida en las zonas urbanas. Se disminuyen los tiempos de desplazamiento por transporte tanto público como privado. También se pueden aumentar las zonas de esparcimiento comunitario en la superficie.

Las ventajas de tipo ambiental son diversas. Las obras subterráneas ayudan a mantener el paisaje natural y no afectan las condiciones naturales superficiales de la zona. Adicionalmente, reducen la contaminación por ruido del tráfico y la visual. Impiden afear el entorno al ocultar instalaciones como subestaciones eléctricas, cables y postes, etc. El transporte público subterráneo requiere de unidades con mejor tecnología, lo cual redundará en una menor contaminación por emisión de gases y un menor gasto energético por pasajero. Además, auxilia en la preservación de los valores culturales de las ciudades, ya que no alteran la fisonomía del paisaje de la ciudad.

Debe decirse que el uso del espacio del subsuelo incrementa los costos de construcción. Hay que aclarar, sin embargo, que al comparar alternativas entre obras subterráneas y superficiales, al costo de las primeras deberá restarse el beneficio, en términos de dinero, que aportan las ventajas tanto económicas como sociales y ambientales de la obra.

Considerando estos argumentos, puede afirmarse que la concepción del Distribuidor Vial Juárez-Serdán (DJS) como una obra subterránea, efectivamente refleja los beneficios mencionados. Sin embargo, para alcanzar el objetivo planteado, hubo que superar retos durante la planeación y construcción del proyecto, propios del entorno urbano donde se encuentra, que involucran las instalaciones existentes (agua, drenaje, electricidad, telefonía), las condiciones geotécnicas y geohidrológicas del sitio, así como las limitaciones en geometría y espacio disponible de la obra, todo ello para construir el DJS dentro de los lineamientos requeridos por el H. Ayuntamiento de la Ciudad de Puebla.

Para enfrentar estos retos, en la ciudad de Puebla se sumaron esfuerzos empresariales para construir la obra, cuya licitación se asignó al consorcio formado por las siguientes empresas:

Desarrollo Iberoamericano, S.A. de C.V.	Asociante; coordinación de proyecto, obra civil
Amecsa Urbanizadora y Arrendadora, S.A. de C.V.	Suministro de equipo
Constructora Monteblanco, S.A. de C.V.	Apoyo logístico
Constructora Orel, S.A. de C.V.	Obra exterior y urbanización
Constructores Unidos de Puebla, S.A. de C.V.	Suministro de equipo
Drenobras, S.A. de C.V.	Suministro de equipo
Grupo Constructor Indigo, S.A. de C.V.	Apoyo logístico
Pisos, Pavimentos y Estampados de Concreto Hidráulico, S.A. de C.V.	Apoyo logístico
Pilotec, S.A. de C.V.	Obra subterránea especializada, asesoría geotécnica
Terracerías, Urbanización y Pavimentos, S.A. de C.V.	Suministro de equipo

En este capítulo se describen en forma general los procesos constructivos que se utilizaron entre los meses de enero y diciembre de 2004, para la ejecución de la obra; se señalan algunos aspectos técnicos que se consideran relevantes o poco usuales en otro tipo de obras.

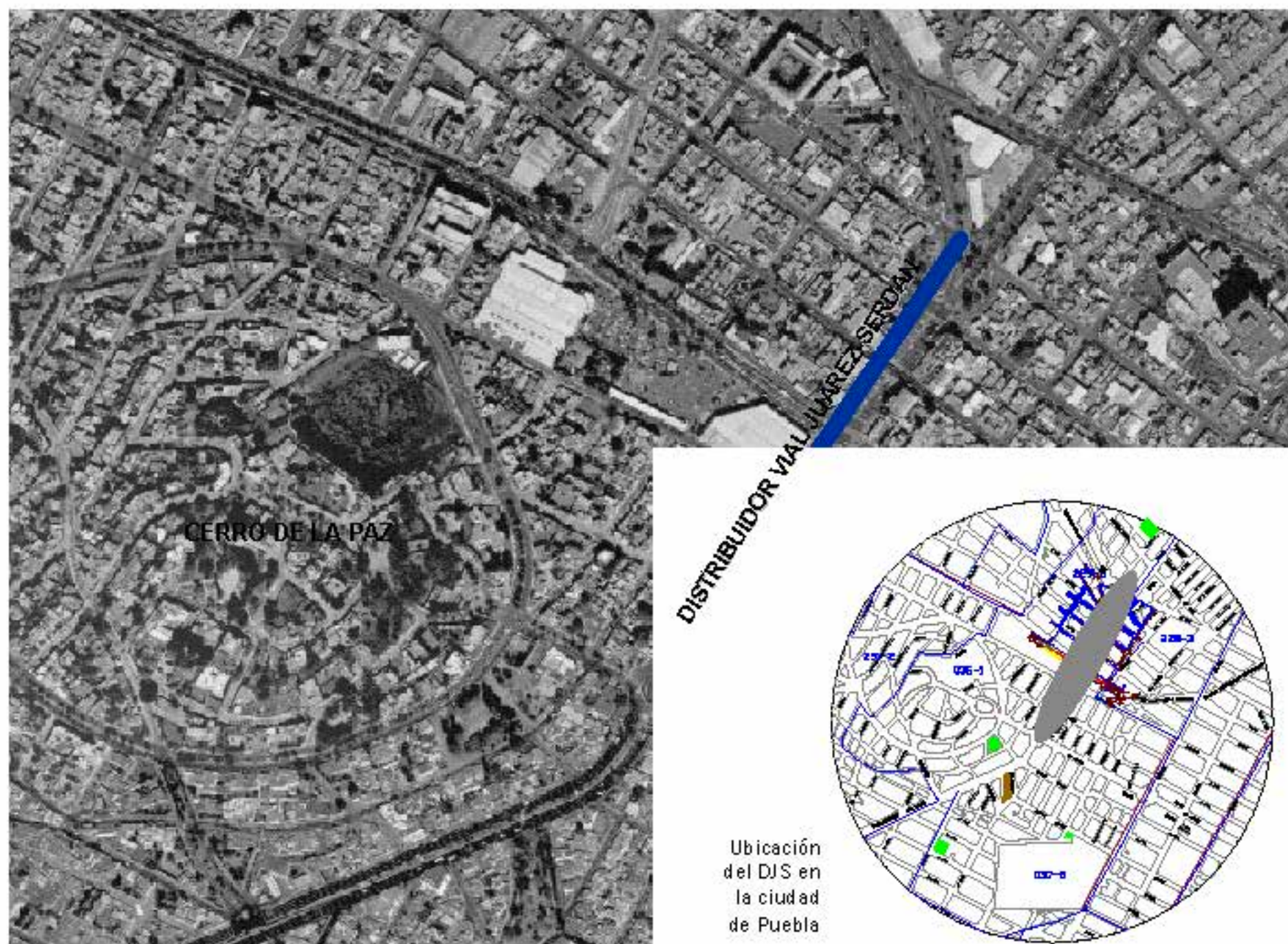
Aunque se describen casi todos los procesos involucrados, se hace especial énfasis en la ejecución del cajón subterráneo, en particular en las zonas de suelos blandos y transición, ya que por sus características, es única en México —y en algunos casos, en América.

Asimismo, se proporcionan algunos datos relevantes del proyecto, que lo ubican en su dimensión, dentro de las obras de infraestructura urbana más importantes de la Ciudad de Puebla.



Características del proyecto

Localización El Distribuidor Vial Juárez-Serdán consiste en un corredor para el tránsito de un tren ligero y vehículos automotores. En su desarrollo, se proyectaron tramos sobre superficie y tramos con un cajón subterráneo. La etapa 2 del DJS se ubica entre la Av. Juárez y la calle 4 Poniente, sobre el Boulevard Aaron Merino Fernández.



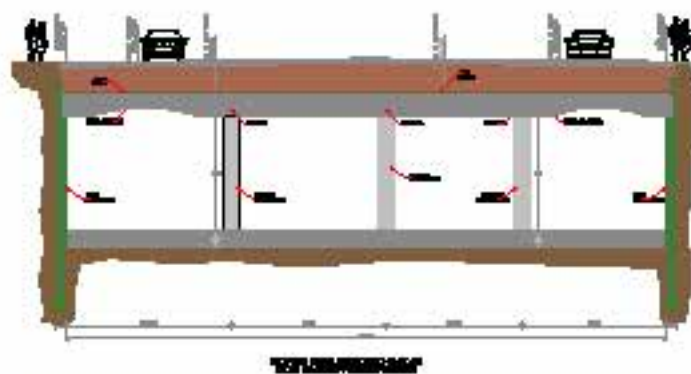
Geometría general Uno de los aspectos más singulares del DJS fue su geometría, notablemente diferente a otras obras subterráneas de este tipo, como las del Metro de la ciudad de México.

El desarrollo de la etapa 2 alcanza 512 m de longitud, cruzando (en el sentido Sur a Norte) las calles 3 Poniente, Reforma Sur, Av. Reforma, 2 Poniente y desembocando con una rampa de salida en la calle 4 Poniente.

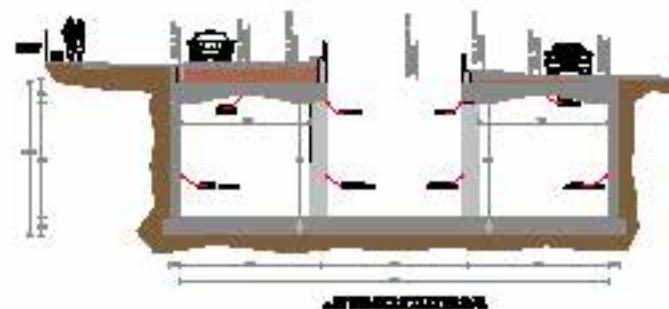
Las secciones tienen hasta 12 m de profundidad, con anchos entre 30 y 40 m.



Corte tipo - zona de andén



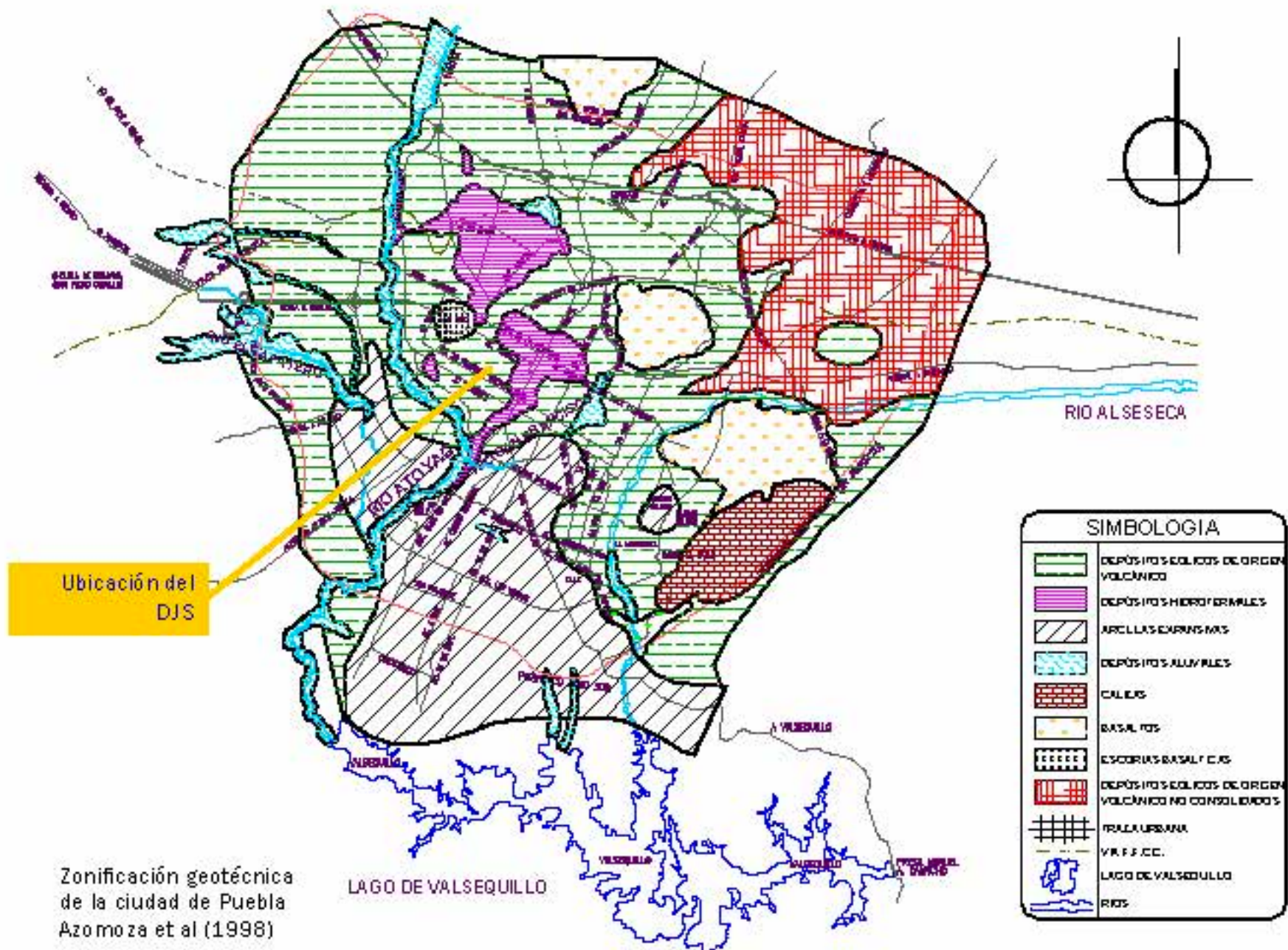
Corte tipo - zona intertramo



Planta general y secciones del DJS

Condiciones geotécnicas

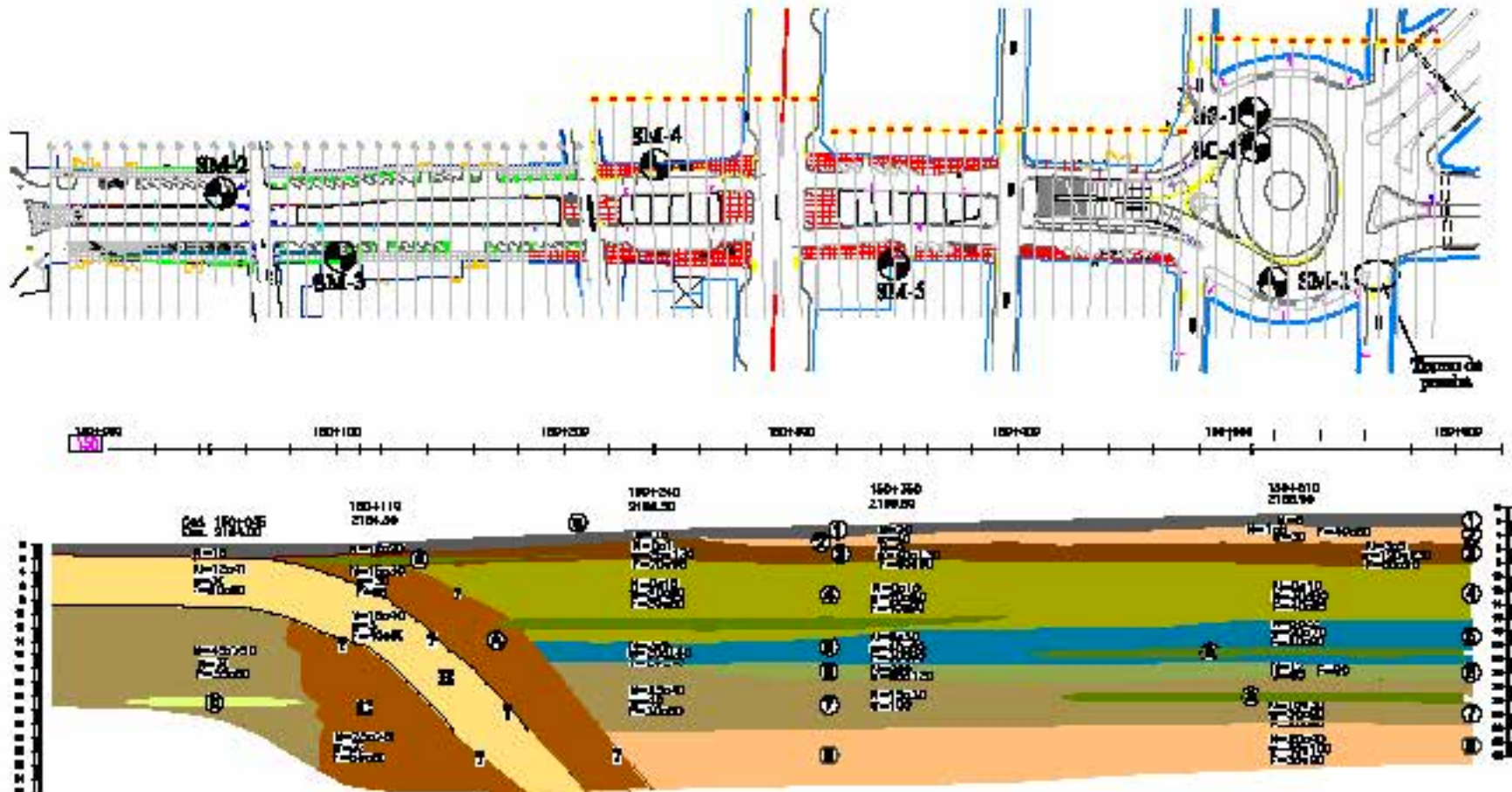
La zonificación geotécnica de la ciudad de Puebla (Azomoza et al, 1998) ubica al DJS en características del suelo complejas. En una zona se encuentra en los límites del Cerro de la Paz, con suelos tobáceos y derrames basálticos; en otra zona se encuentran depósitos eólicos de origen volcánico, intercalados con depósitos hidrotermales. La transición entre estas diferentes condiciones geotécnicas es abrupta.



Para determinar las condiciones geotécnicas particulares del DJS, se llevaron a cabo diversos sondeos: de cono eléctrico, sondeos mixtos con recuperación de muestras inalteradas, sondeos selectivos, sondeos geoelectricos. Además, se instalaron estaciones piezométricas, que permitieron determinar las condiciones hidráulicas del subsuelo.

En el inicio del tramo, en el cruce con la Av. Juárez, se encuentran tobas y limos arenosos de resistencia alta y deformabilidad baja que después de una zona de transición, cambian a arcillas de plasticidad alta, de resistencia baja al esfuerzo cortante y de deformabilidad alta, intercalados con estratos de roca caliza y travertino.

El nivel de agua superficial se localizó entre 1.5 y 2.5 m de profundidad; además, en la zona de suelos blandos se detectaron flujos de agua sulfurada subterránea (subálvea) entre 11 y 13 m de profundidad.



Planta del DJS y corte geotécnico a lo largo del trazo. Nótese la transición abrupta a partir del cad. 150+120

Tomando en cuenta las diferentes condiciones geotécnicas, la construcción de la etapa 2 se dividió en tres procedimientos diferentes:

Procedimiento	Inicio	Termina	Características
1 Zona a cielo abierto	150 + 000	150 + 104	Excavación a cielo abierto, con taludes estables con poca o nula presencia de agua en la excavación, manejada con bombeo de achique
2 Zona de transición	150 + 104	150 + 125	Contención de excavación con muros milán colados en sitio; excavación con taludes y bermas sobre muros; nivel freático abatido por la excavación, manejado con bombeo de achique
3 Zona de suelos blandos	150 + 125	150 + 512	Contención de excavación con muros milán prefabricados, excavación central con taludes y bermas sobre muros, excavación lateral con apuntalamiento en dos niveles; presencia importante del nivel de agua freática, construcción de pantallas flexo-impermeables, bombeo de achique

La etapa 1 se construyó totalmente con el procedimiento de excavación a cielo abierto



División de la zona de trabajo, en diferentes procedimientos constructivos, tomando en cuenta las características geotécnicas

Zona a cielo abierto

La construcción de esta porción de 104 m de longitud, se llevó a cabo excavando el cajón a cielo abierto, con taludes estables y formando la estructura del fondo hacia arriba, de manera convencional. La losa de fondo, las columnas y los muros laterales fueron colados en el lugar, mientras que las traveses y dovelas fueron prefabricadas en planta y montadas en la obra.

Secuencia de construcción:

Excavación a cielo abierto



Losa de fondo



Muros laterales



Columnas

Montaje de traveses prefabricados





Construcción de muros laterales en la zona a cielo abierto





Relocalización de instalaciones aéreas

Obras inducidas

Uno de los mayores retos en el DJS, fue el retiro y reubicación de las instalaciones municipales (aéreas y subterráneas), que incluyeron cables eléctricos, telefónicos, tuberías de agua y drenaje.

Estas actividades fueron indispensables para la ejecución de los trabajos, dado que el DJS corta la trayectoria de estas instalaciones; en particular, la reubicación de las mismas, fuera del trazo del cajón constituyeron un reto al ingenio y la creatividad.



Ejemplo de colocación de tubería PAD (polietileno de alta densidad) en obras inducidas.

Instalaciones existentes antes del inicio de la construcción del DJS (obras inducidas): alumbrado, energía eléctrica, agua, telefonía, gas, drenaje



Zona de transición

Secuencia de construcción:

Brocales. Construidos en el eje de trazo, de concreto reforzado, en forma de "L" invertida, colocados frente a frente y separados.

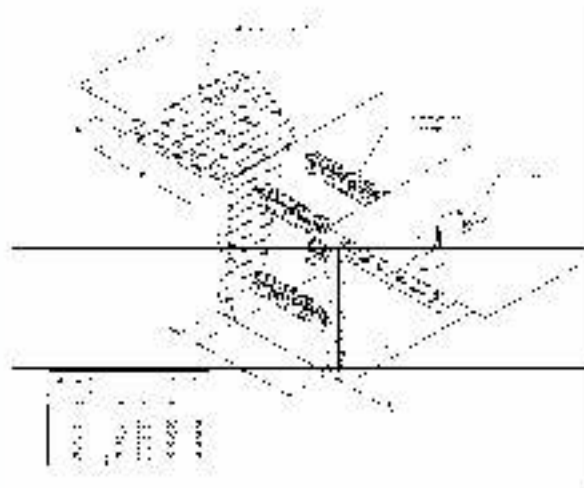
Los brocales tienen la función de contener los rellenos superficiales, proporcionar una superficie de trabajo, guiar la herramienta de excavación de muros milán y detectar las instalaciones superficiales.

Muros milán. Al presentarse variaciones importantes del contacto en el fondo con los suelos firmes, se prefirió utilizar muros colados en el lugar, que se construyeron siguiendo el contorno de ese contacto.

El procedimiento de excavación fue por medio de perforaciones previas, en una primera etapa, y después alternando la excavación con almeja guiada y caída libre de trépanos de acero.

Después de dar un acabado, este muro quedó como definitivo.

La transición abrupta entre la zona de tobas y basaltos, en contacto con los depósitos lacustres e hidrotermales, se localizó en una extensión aproximada de 24 m, los cuales se construyeron siguiendo una secuencia diferente.



Colocación de columnas.

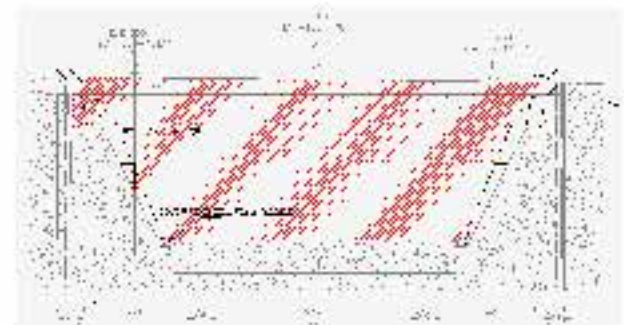
Prefabricadas, que se instalaron en una perforación previa apoyadas en el estrato de travertino bajo la losa de fondo; después se vació el concreto con el sistema tremie, funcionando además como pilas de cimentación. Una vez excavado el cajón, las columnas se sobrecolaron con cimbra metálica, para dar el acabado requerido.



Excavación del núcleo -1. La excavación del núcleo se hizo por etapas, excavando primero hasta -3 m, para ligar los muros milán lateralmente



Excavación del núcleo -2. Se excavó una cubeta central, dejando bermas y taludes laterales conteniendo los muros milán



Montaje del sistema de traveses.

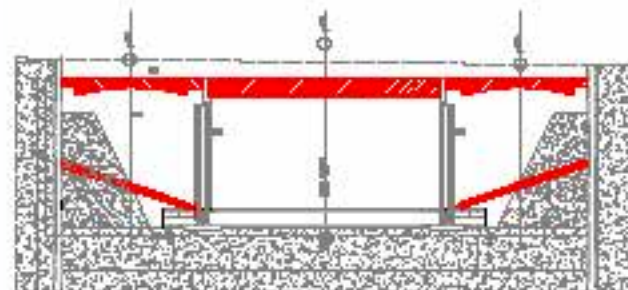
Apoyadas en los muros milán y las columnas, se colocó la estructura definitiva como primer nivel de troquelamiento, formada por traveses transversales y longitudinales, además de dos dovelas, formando un diafragma horizontal.



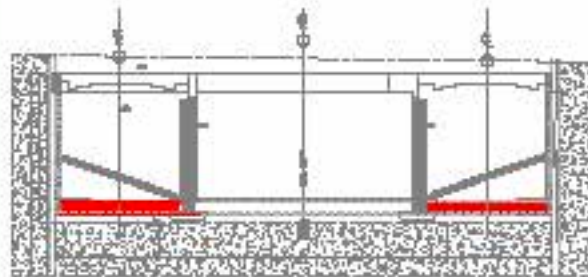
Losa de fondo, franja central. Esta tiene los objetivos de servir de lastre y trabajar estructuralmente como parte del cajón. Se construyó utilizando concreto tipo Duramax®



Excavación del núcleo -3. Se retiraron las bermas laterales en porciones de 16 m de longitud, troquelando con puntales metálicos, y aplicando una pre carga.



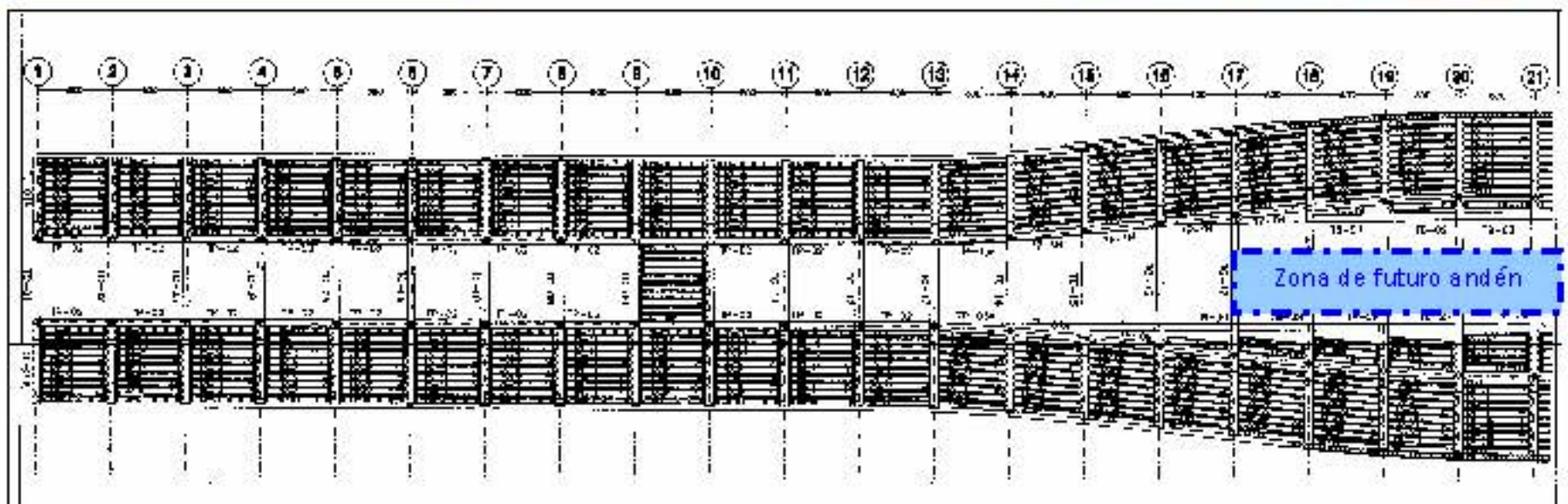
Losa de fondo, franjas laterales.



Complemento del cajón. Junta entre muros, segundo colado de columnas, montaje de dovelas restantes.



Rellenos. Relleno superior del cajón, para formar la infraestructura de la futura vialidad, incluyendo subbases, bases y losas de concreto hidráulico.



Estructuración en planta; nivel de calle, trabes y dovelas

Una obra prefabricada

Una de las características singulares de la construcción del Distribuidor Vial Juárez Serdán, fue la utilización de elementos prefabricados en casi todo el proyecto:

- Muros milán
- Columnas
- Trabes longitudinales y transversales
- Dovelas
- Parapetos
- Deflectores y barreras

El uso de estos elementos permitió un avance en la obra en dos frentes de trabajo: en la planta de prefabricados, y en el sitio de la obra.

La planta en que se fabricaron las piezas, se encuentra en el estado de Tlaxcala, a una distancia aproximada de 20 km, lo que permitió un estricto control de calidad en la manufactura, transporte y montaje de todos los elementos.



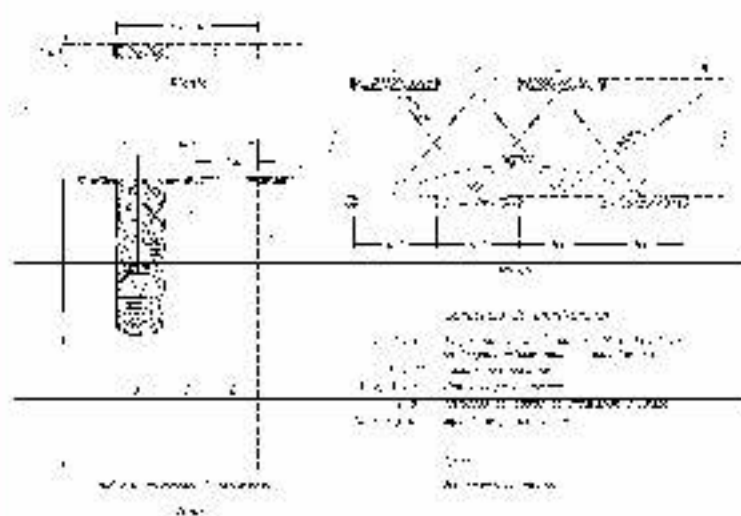
Secuencia de construcción de muros milán

Excavación. Se identifica como tablero a un tramo de zanja que se profundiza con una almeja, que se coloca en tres posiciones para alcanzar una longitud horizontal típica de 6 m y de la profundidad requerida; en cuanto al ancho, primero el de la excavación y después del muro terminado, fue de 60 cm; en la figura se muestra como primero se excavan las dos posiciones laterales (A, B) y finalmente la central (C), con el único propósito de lograr simetría en la operación de la almeja de excavación y con ello conservar su verticalidad.

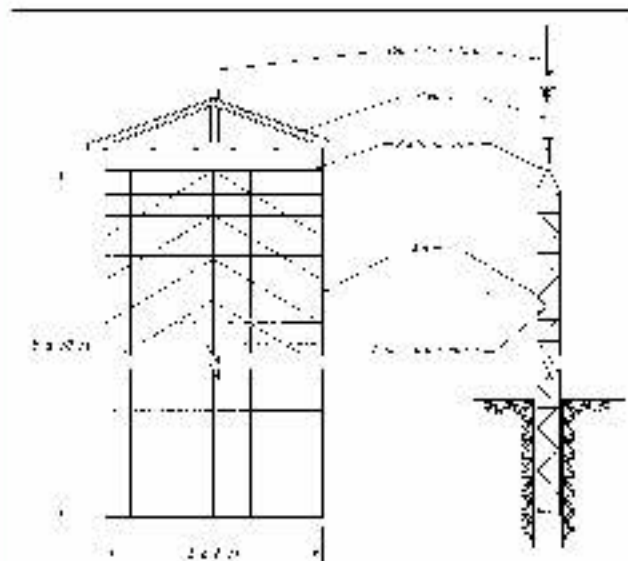
Colocación del acero de refuerzo. Se colocó el acero habilitado y armado con ayuda de una grúa de servicio; se dejaron preparaciones con poliestireno para ligar posteriormente con la losa de fondo, firmemente asegurados a las parrillas de acero de refuerzo. La función de esas cajas es primero evitar que penetre el concreto y después facilitar el descubrir el acero de refuerzo para realizar las conexiones, dobleces o traslapes del acero del muro.

Construcción de muros milán

El muro milán, diafragma o pantalla se puede definir como una pared de concreto reforzado conformada en el subsuelo. Los muros milán se utilizan y diseñan para soportar los empujes horizontales de la masa de suelo, funcionando temporalmente como tablestacas; después forman parte estructural en las condiciones que el suelo impone a corto y largo plazo, así como en la condición sísmica. Otra función complementaria del muro es servir de lastre para soportar la subpresión a la que está sometida la estructura.



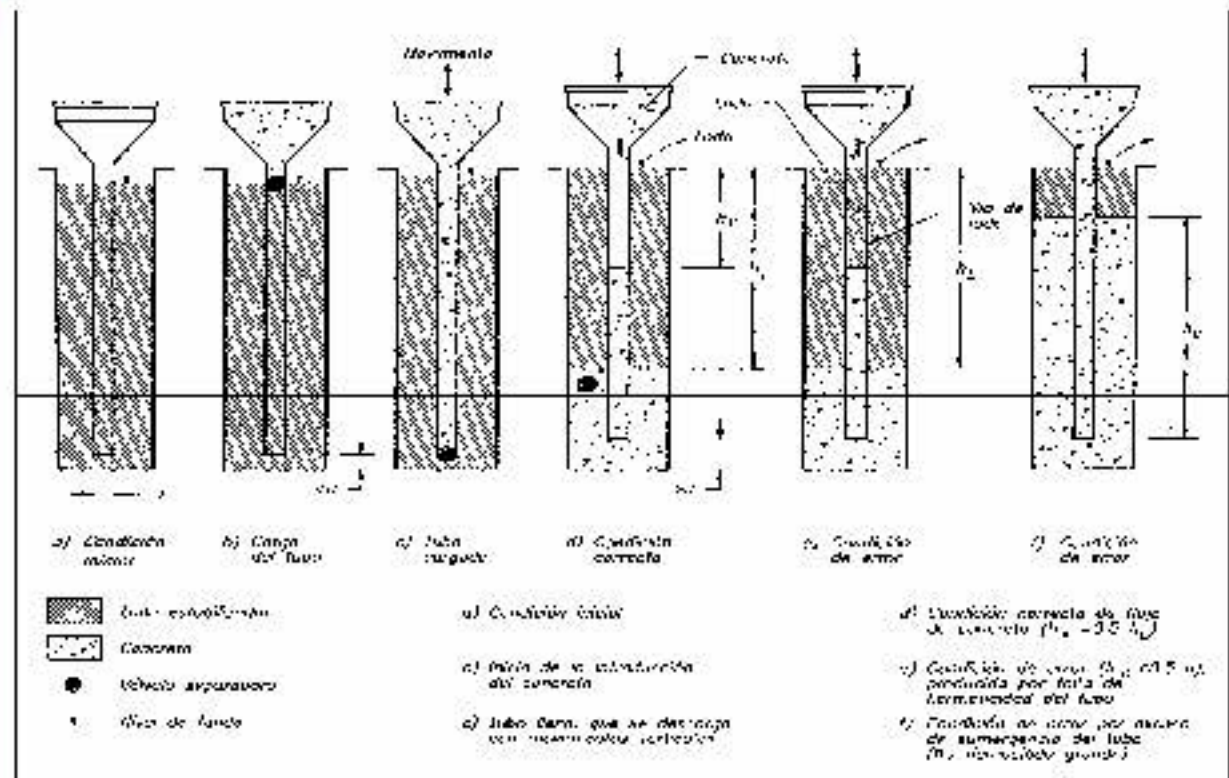
Para lograr la estabilización de la zanja, se utilizó lodo formado con agua y polímeros sintéticos; químicamente se trata de polímeros orgánicos de policrilamida que forman moléculas grandes en cadena constituidas por un mismo grupo de partículas o moléculas del mismo material, con un peso volumétrico de 1.04 t/m³. Estos lodos no forman costra en la pared de la excavación ya que el polímero se infiltra y une las partículas por atracción iónica. Los polímeros presentan distintas propiedades, como producto biodegradable y no contaminante que permite formar un lodo que facilita realizar una obra con gran limpieza y puede ser desalojado directamente al drenaje público sin contaminarlo.



Colocación de concreto. El método de vaciado del concreto consiste en empezar desde el fondo de la excavación, y gradualmente levantarlo manteniendo siempre su punta de descarga dentro de la masa fresca ya colocada, con esto se evita la segregación y la contaminación del concreto.

La secuencia de operación, desde la condición inicial (a) cuando se introduce el tubo tremie en la zanja llena de lodo; (b) es la condición de carga de tubo; (c) en el tubo completamente cargado se produce fricción entre el concreto y la pared interna del tubo, la cual usualmente se rompe con movimiento oscilatorio vertical brusco y conduce a la condición de operación correcta (d), en la cual el concreto que se vacía fluye y sólo requiere subsecuentes movimientos verticales para romper la fricción y facilitar la descarga.

El proceso de llenado de la zanja con concreto es de abajo hacia arriba y por ello en la parte superior se encuentra la capa de contacto entre el lodo y concreto, a la cual, le subyace el concreto no contaminado o sano. El concreto alterado debe rebosar en la superficie y se debe retirar para deshacerse de la parte contaminada que pudiera haberse formado. El acero debe estar dentro de concreto sano y aún así parte de él debe ser demolido para la consecución de la construcción.



Proceso de colocación
de elementos prefabricados



Zona de suelos blandos

A partir del cadernamiento 150+128 y hasta el 150+512 –la mayor porción del DJS, segunda etapa-, se utilizó el procedimiento constructivo diseñado para suelos blandos lacustres, intercalados con roca travertino, cuyas características fueron detectadas con mayor precisión en esta zona. Aunque el proceso general guarda similitudes con el de la zona de transición, la zona de suelos blandos presenta mayores dificultades, por la presencia de suelos blandos y el flujo de agua subterránea.

El análisis de estabilidad de la estructura durante todas las fases del proceso se llevó a cabo empleando el método de elementos finitos, donde se consideró toda la secuencia constructiva:

1. Construcción de muros prefabricados e instalación de columnas prefabricadas
2. Excavación de primera etapa a 3.0 m de profundidad y colocación de vigas de losa superior a la misma profundidad
3. Excavación de segunda etapa en cubeta central, dejando bermas laterales
4. Excavación y construcción del colector desde el fondo del cajón
5. Construcción de losa de fondo central
6. Excavación de bermas laterales, hasta 11.0 m de profundidad y colocación de segundo nivel de troqueles a 8 m de profundidad
7. Construcción de losas de fondo laterales
8. Colocación de relleno en la superficie

Propiedades mecánicas del suelo consideradas en el análisis

Unidad estratigráfica	Prof. m	Número de golpes SPT N	Cohesión (KN/m²)	φ (°)	E (KN/m²)	m_v cm²/kg	γ (KN/m³)	ν
Relleno limo-arenoso, ML	0.0-2.0	19-32	150	0	7500	-	16	0.35
Arcilla de consistencia muy blanda a blanda, CH	2.0-9.0	PH-3	22	0	2400	0.08	14	0.45
Limo arenoso, MH	9.0-13.0	10-17	45	0	4200	0.06	17	0.35
Arena arcillosa, SC	13.0-14.5	7-9	10	30	5000	-	16	0.25
Arcilla arenosa con gravas, CH	14.5-19	30->50	200	0	10000	-	15	0.35

Φ	Ángulo de fricción interna
E	Módulo de elasticidad
M_v	Módulo de compresibilidad
γ	Peso volumétrico
ν	Relación de Poisson

Muros prefabricados –consideraciones constructivas

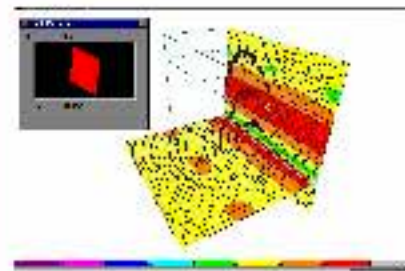
Principales ventajas

- Muros prefabricados y preforzados en planta
- Menor apuntalamiento: dos niveles (trabes y troquel)
- Estructura definitiva
- Compresión del programa general de construcción

Secuencia general de construcción

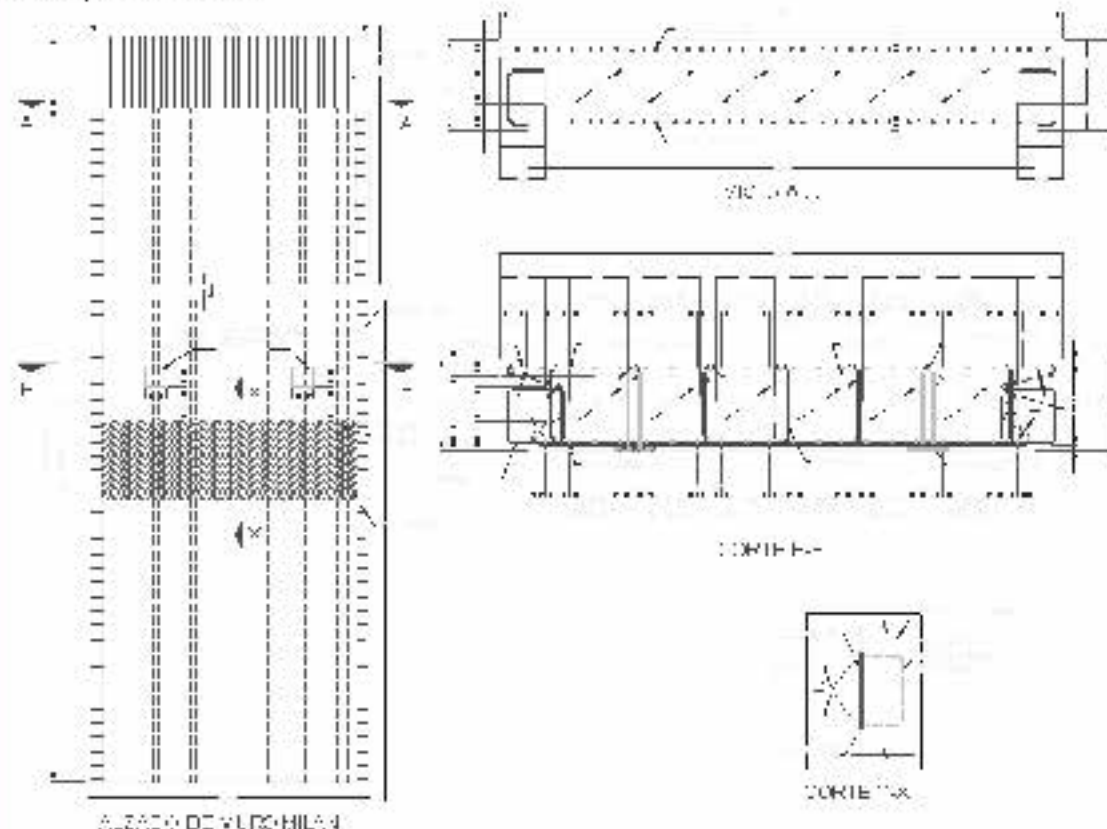
- Fabricación de muros
- Transporte de muros a la obra
- Construcción de brocales
- Excavación de zanja con almeja guiada
- Colocación de muro precolado
- Inyección de lodo fraguante (cemento-bentonita-agua) en el espacio entre excavación y muro

Para el diseño de los muros prefabricados, fue necesario tomar en cuenta el proceso constructivo planeado; influyeron fundamentalmente el número de niveles de troquelamiento (dos niveles: trabes y puntal), así como su espaciado horizontal (en este caso, a cada 8 m). Con este objetivo, se revisaron estructuralmente los muros, para que fueran capaces de soportar los requerimientos obligados por el procedimiento constructivo, además de cumplir con su función a largo plazo, como parte de la estructura del cajón del DJS.



Análisis de los muros prefabricados con el Método de Elementos Finitos

Muro prefabricado



Muros prefabricados –manufactura en planta

La fabricación de los muros se realizó en una planta ubicada en Tlaxcala, a 20 km del sitio de la obra. En una cama de colado, se tejieron los cables de presfuerzo, además del acero de refuerzo que integran los muros. Se aligeraron con tubos de castón, para facilitar su maniobra (aligerados pesaron 40 t; sin aligerar cerca de 90 t). Una vez colocados, los huecos se rellenaron de concreto.

Una vez realizado el pretensado, se colocó el concreto dentro de los moldes; posteriormente se curaron con vapor para retirarlos de la mesa de colado al día siguiente, habiendo certificado previamente la resistencia adquirida por el concreto en esas condiciones.

En el DJS se utilizaron 184 muros prefabricados, con las siguientes características:

Espesor	0.65 m
Largo	10.5 a 13 m
Ancho	4.0 m
Resistencia del Concreto a los 28 días	300 kg/cm ²



El DJS es la mayor obra de muros prefabricados en América

Muros prefabricados —transporte y excavación de zanja

Izaje de la cama de colado y transporte a la obra.
La movilización tomó alrededor de una hora de tránsito, en condiciones normales



Excavación de zanja de 75 cm de espesor, con almeja guiada para la instalación de los muros

La profundidad de excavación fue de 50 a 100 cm mayor a la cota inferior del muro, con objeto de permitir la nivelación y plomeo de los muros dentro de la zanja



Proceso de excavación y
colocación de muros prefabricados



El montaje de los muros se realizó utilizando dos tipos de grúas, una hidráulica sobre neumáticos (a la derecha), de 120 t de capacidad. Conforme se avanzó en el proceso de la obra y la construcción entró en la temporada de lluvias, se reemplazó esta grúa por una sobre orugas, con capacidad de 140 t (abajo).



Nivelación y plomado

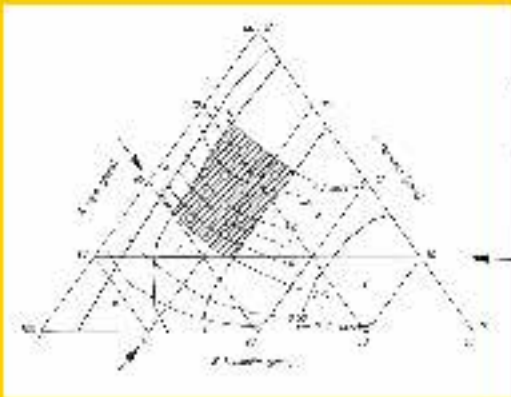
Muros prefabricados –montaje



Muros prefabricados –confinamiento temporal y estanqueidad

Para confinar los muros durante el proceso de construcción, se colocó lodo fraguante entre la excavación de la zanja y los muros. El lodo fraguante es un lodo bentonítico al que se le adiciona cemento, para lograr su fraguado después de unas horas y obtener una resistencia al cabo de determinado tiempo, generalmente algunos días. En el Distribuidor Vial Juárez Serdán, el lodo fraguante tuvo tres propósitos fundamentales:

Diagrama para dosificación de lodo fraguante (Santoyo, 2002)



- ✚ Sostener los muros precolados, por fricción lateral fundamentalmente, hasta la construcción del cajón subterráneo; para lograr este objetivo, el lodo se diseñó con una resistencia al esfuerzo cortante similar a la del suelo del sitio.
- ✚ Ayudar a la impermeabilización de la junta entre muros, proporcionando un material de baja permeabilidad, similar a la de la arcilla blanda encontrada.
- ✚ Como relleno entre las paredes de la excavación y el muro precolado, evitando asentamientos en el terreno vecino, evitando desplazamientos de los muros precolados dentro de la zanja previamente excavada.

El lodo se elaboró en una planta construida dentro de la obra, y se envió mediante una tubería. Se introdujo desde el fondo de la excavación, desplazando el lodo estabilizador hacia arriba, por medio de dos tubos de PVC, colocados en los costados del muro, dentro de la llave de cortante.

Para lograr una estanqueidad entre muros, así como con la losa de fondo, se colocaron bandas ojilladas de PVC, embebidas en las uniones.

Banda de PVC en unión lateral con muro y con losa de fondo



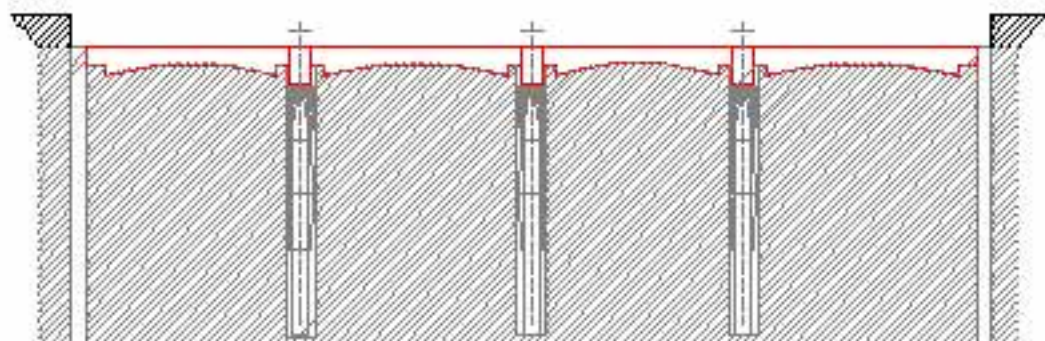
Colocación de columnas.

Prefabricadas, se apoyaron como pilas en el estrato de travertino a 1.3 m de profundidad. Algunas se inyectaron en la base posteriormente, para asegurar el contacto con el estrato resistente.

Se colocaron 72 columnas



Excavación del núcleo -1. Se realizó hasta -3 m; se colocaron las trabes primarias y secundarias formando una retícula



Se fabricaron y montaron 389 trabes prefabricadas



Excavación de núcleo -2. Corte en una cubeta central desde el nivel de trabes hasta 11 m de profundidad; taludes laterales hacia los muros milán de 45°, dejando una berma a 5 m de profundidad, en la corona de 2 m de ancho.



Se excavaron 182,752 m³ de suelo y roca

Construcción de colector. Desde el nivel de desplante de la losa de fondo, se realiza una excavación de 2 m adicionales, para alojar un colector de 1.2 m de diámetro, con tubería de polietileno de alta densidad.

Este colector conduce el agua por debajo del cajón del DJS, hasta descargar en el Río Atoyac.



Construcción de losa de fondo -1. Se coloca el acero y concreto en la losa de fondo de la porción central excavada. Asimismo, se construyen bloques de concreto ahogados en la losa, que servirán de apoyo a los troqueles metálicos.

Se utilizaron 4,448 toneladas de acero de refuerzo

Excavación de núcleo -3. Se retiran las bermas en franjas, sustituyendo el respaldo del suelo con troqueles metálicos, que se precargan para mitigar los movimientos del muro prefabricado.



Construcción de losa de fondo -2. Se ligan los muros prefabricados con la losa de fondo, cerrando el cajón.

Se colocaron 31,744 m³ de concreto



En el DJS se fabricaron, transportaron y colocaron 1,320 dovelas



Colocación de dovelas prefabricadas. Se cierran las porciones exteriores del cajón, para constituir la vialidad superficial.



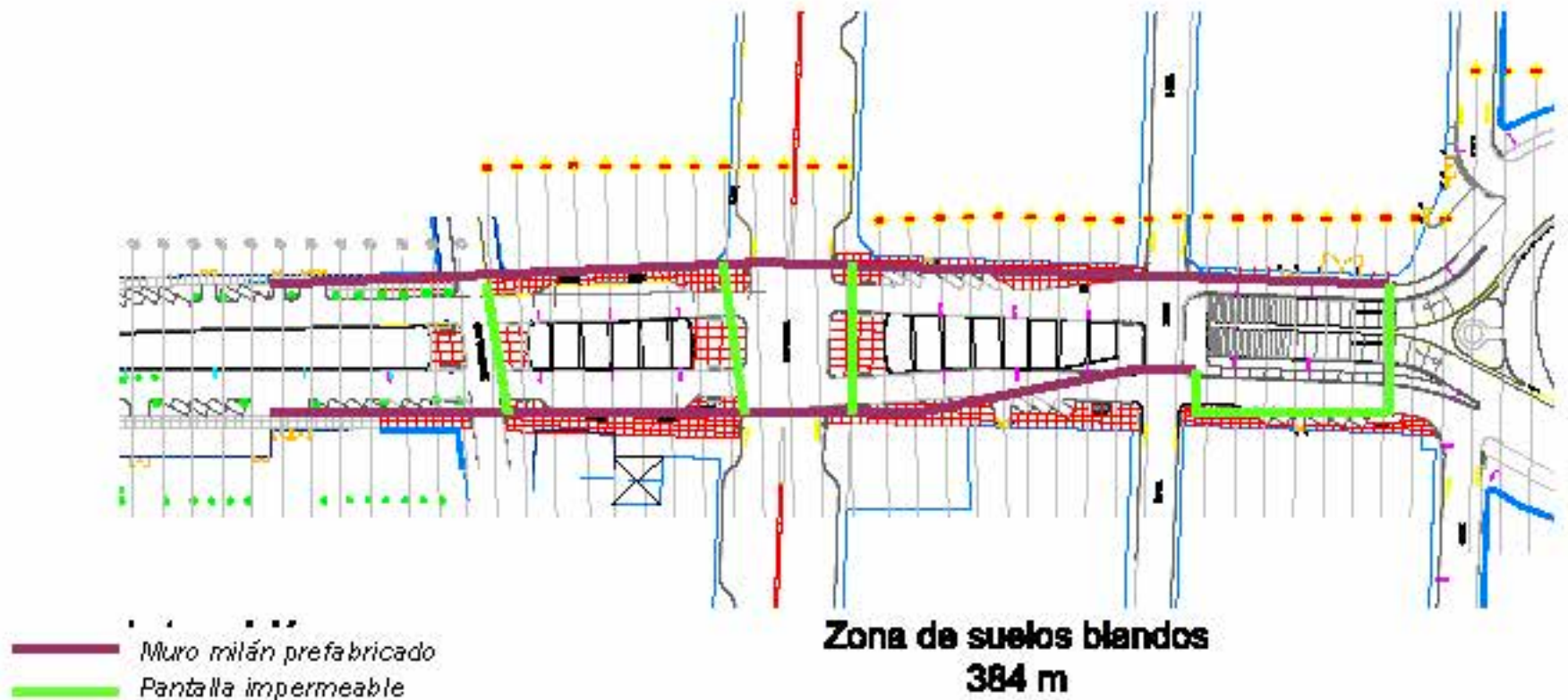
Pantallas impermeables

Estos elementos constituyen una barrera impermeable no estructural que se construye subterráneamente para impedir el flujo de agua dentro de la excavación. En el DJS, se colocaron en el sentido transversal del cajón, con el propósito de disminuir las filtraciones en el frente de la excavación, el bombeo dentro del cajón, y las consecuentes afectaciones a las colindancias.

Para su construcción se utilizaron las almejas de excavación de muro milán, usando como relleno una mezcla de cemento-bentonita-agua, que queda como barrera impermeable después de colocada y fraguada la mezcla.

La longitud de la pantalla llegó al estrato resistente que se encuentra aproximadamente a 13 m de profundidad, para cortar el flujo de agua bajo el nivel máximo de excavación, y la aportación superior de agua de ese estrato.

Tomando en cuenta que el ancho del cajón es entre 30 y 40 m, las pantallas se ubicaron a cada 40 m, aproximadamente, para formar “cubetas” de excavación de forma regular. Para vaciar el agua dentro de cada “cubeta” se utilizó bombeo de achique al pie del talud del frente de la excavación.



Pavimento. Para alcanzar el nivel de calle, se colocó tepetate compactado; posteriormente, se construyeron los pavimentos de concreto hidráulico y asfáltico, de acuerdo a la zona.



En los pavimentos de concreto hidráulico, se colocaron juntas estructurales, para minimizar el fisuramiento por expansión y contracción del concreto.



Acabados en superficie

A lo largo dell DJS, se colocaron parapetos de concreto, integrados a la estructura del cajón. En los cruces de las calles, se construyeron muros emblemáticos.



Los constructores del DJS

La dedicación y entereza de los trabajadores del Distribuidor Juárez Serdán fue un factor determinante para la consecución de la obra.

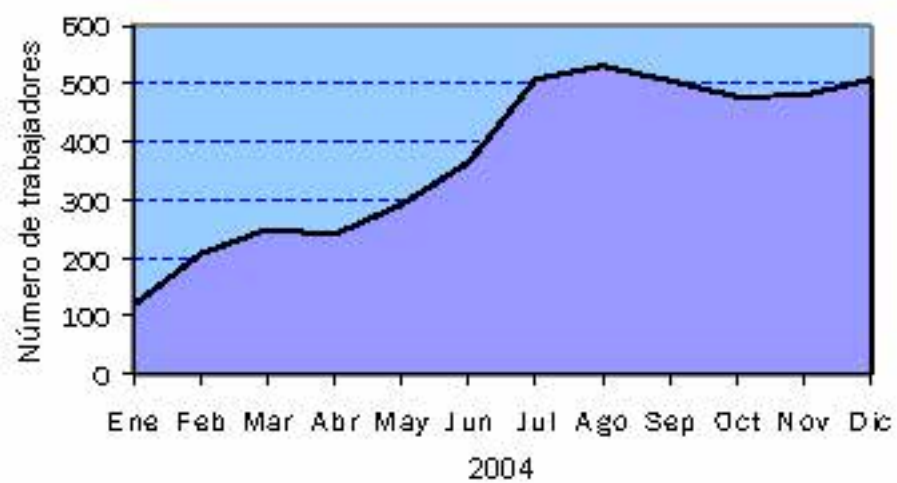
El temple de los constructores se puso a prueba en las largas jornadas de trabajo, el alto grado de dificultad técnica del proyecto y las inclemencias del tiempo.

Prevalecieron el compromiso con la calidad de la obra, así como el orgullo de participar en una de las obras más destacadas del 2004 en México.

A todos los participantes en el proyecto, un reconocimiento por su labor.



Fuerza de trabajo en el DJS,
durante el 2004



El día tiene 24 horas

Debido al alto grado de dificultad de la obra, así como al cumplimiento de fechas comprometido, fue necesario trabajar en dos o tres turnos en diferentes actividades, extendiendo las jornadas de trabajo para mantener un ritmo continuo.





Enero



Febrero



Marzo



Abril

Perspectivas aéreas del
Distribuidor Vial Juárez-Serdán, durante 2004



Mayo



Junio



Julio



Agosto

Perspectivas aéreas del
Distribuidor Vial Juárez-Serdán, durante 2004
(continuación)



Septiembre



Octubre

Perspectivas aéreas del
Distribuidor Vial Juárez-Serdán, durante 2004
(continuación)



Equipo técnico
administrativo

Referencias

Azomoza G., Vera A., Reyes L. (1998) *Zonificación geotécnica para el área urbana del Valle de Puebla*. XIX Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Puebla, México. Publicado por la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

ITA (2000) *Why go underground?* Internacional Tunneling Association - Association Internationale des Travaux en Souterrain.

Jaime, A. (2002) *El uso del espacio del subsuelo en México*. XXI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Querétaro, México. Publicado por la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

Paniagua W.I. (2003) *Informe del tramo de prueba de muros milán, Distribuidor Vial Juárez-Serdán 2ª Etapa*. Preparado para el H. Ayuntamiento de la ciudad de Puebla.

Santoyo E. (2002) *Muros Milán*. Capítulo 3 del Manual de Construcción Geotécnica. Editado por W. Paniagua. Publicado por la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

