

Un caso de estudio para el diseño y la construcción de la parte superior hacia la inferior para un desarrollo de muchos pisos en Los Ángeles, California

*Jason Thompson, Asociado
KPF Consulting Engineers
Portland, Oregon*

*Chris Zadoorian, Director
GeoDesign, Inc.
Anaheim, California*

Extracto

En años recientes, en el centro de Los Ángeles se han iniciado una gran cantidad de proyectos de muchos pisos. En la mayoría de los casos, se construyen por lo menos uno y con frecuencia dos o más niveles subterráneos. La secuencia de construcción convencional consistiría en la instalación de los apuntalamientos, la excavación masiva y la construcción de la estructura por debajo del nivel del suelo, todo antes de construir la súper estructura del edificio.

Para un proyecto de muchos pisos actualmente en proceso de construcción en el centro de Los Ángeles, se utilizó una secuencia alternativa a la que se le denomina 'de arriba hacia abajo' (o 'de la parte superior hacia la inferior') tendiente a reducir la duración del programa general de la construcción. El secuenciamiento de arriba hacia abajo por lo general permite que la construcción de la súper estructura del edificio se haga en tándem con la excavación y la construcción masiva de los niveles por debajo del nivel del suelo. El proyecto en cuestión incluye una torre de 23 pisos sobre tres niveles subterráneos y la base del edificio es de aproximadamente 60,000 pies cuadrados. Se implementó una secuencia modificada de arriba hacia abajo en la que la instalación de los muros del sótano y las cimentaciones por debajo del nivel del suelo así como el inicio de la súper estructura, precedieron a la excavación masiva y a la construcción del piso del sótano. En el proyecto se utilizaron pilotes de plancha de acero tanto para los apuntalamientos temporales como para la construcción del muro permanente del sótano – por primera vez en California.

En el presente se abordan los beneficios de la construcción de arriba hacia abajo, que fue la secuencia empleada en este proyecto y el diseño innovador tanto de la estructura como de la cimentación, así como los métodos de construcción previstos para facilitar su adopción.

Introducción

El proyecto en cuestión, acuño a Evo South por parte del desarrollador del proyecto, e incluye una torre de condominios residenciales de 23 pisos sobre tres niveles subterráneos, con una base del edificio de aproximadamente 60,000 pies cuadrados. Se espera que se termine en el 2008. La base del

edificio ocupa la totalidad del sitio y es de forma rectangular. Limita al sur y al este con la Calle 12 y con la Grand Avenue, respectivamente; con un callejón en el lado oeste; y con una torre residencial de 11 pisos que se completó recientemente, con un nivel subterráneo inmediatamente hacia el norte. Ver Figura 1 abajo.

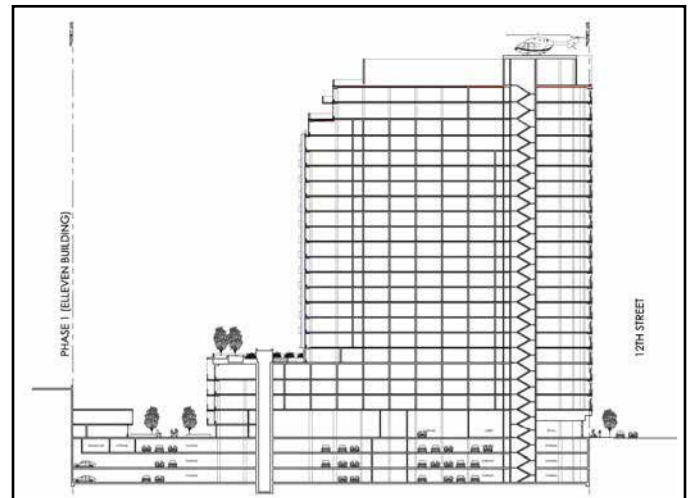


Figura 1: Sección a través del edificio viendo hacia el este

La torre se diseñó de conformidad con el Código de Construcción de la Ciudad de Los Ángeles de 2002, el cual es esencialmente equivalente al Código de Construcción de California de 2001 y al Código de Construcción Uniforme de 1997, utilizando los parámetros de diseño sísmico presentados en ellos. Para la aplicación y uso, para determinar los movimientos de diseño del suelo de conformidad con las estipulaciones de la 2002 LABC, se desarrolló un espectro de respuesta específico para el sitio.

Las fuerzas laterales debidas al viento o a sismos son resistidas por tres núcleos de muros de cortante que se extienden desde el nivel P3 alrededor de las escaleras y de los elevadores. Dos de estos muros con núcleo continúan hasta el techo de la torre (dentro de la zona de construcción de la parte

superior hacia la inferior), mientras que en el extremo norte un tercer núcleo continúa hacia arriba hasta la parte inferior de la terraza del piso 6. Los muros de cortante cumplen con los requerimientos del código con respecto a un sistema de Marcos de muros de cortante para construcción ($R=5.5$), e incorporan vigas de acoplamiento reforzadas diagonalmente en las aperturas de las puertas dispuestas en forma apilada, en donde la geometría y las demandas de corte calculadas garantizaron su uso (CBC, 2002).

Para diseñar el sistema que resiste las fuerzas laterales, se realizó un análisis de espectro de respuesta lineal utilizando un modelo tridimensional de computadora ETABS. Las propiedades reales de las vigas de acoplamiento de los muros de cortante se establecieron conforme a las sugeridas por Paulay y Priestley (1992). Mediante el uso de un análisis simple de empuje no lineal, conforme a lo justificado por Hindi y Hassan (2004), estas propiedades se verificaron subsecuentemente y las demandas de rotación plástica en ΔM se compararon con el límite permisible de 0.03 radianes conforme a lo sugerido para el desempeño Seguro por el tiempo de vida de FEMA 356.

La carga muerta más la viva máxima de las columnas interiores fue de 2,100 kips. La carga sísmica máxima a corto plazo sobre los fustes de núcleo perforado fue de 3,350 kips. La presión promedio aplicada a la cimentación sobre toda la base de la torre fue de 12,000 psf, con presiones pico por debajo de los núcleos de 20,000 psf.

La excavación se prolongó dos niveles por debajo del sistema de la cimentación de la elevación media de la torre adyacente y de una bóveda utilitaria, que requirió apoyo para esa construcción existente. Los edificios de poca altura ubicados en el lado oeste del sitio también impusieron cargas adicionales sobre los apuntalamientos temporales y sobre los muros permanentes por debajo del nivel del suelo.

El diseño estructural fue revisado por pares en la dirección del Departamento de Construcción y Seguridad de Los Ángeles.

Construcción de arriba hacia abajo

El método de construcción de arriba hacia abajo conlleva la construcción de los niveles por arriba del nivel del suelo antes de (o en tándem con) la construcción de los niveles por debajo del nivel del suelo, dentro de la misma base. Esto se puede utilizar para mitigar algunos de los problemas asociados con los apuntalamientos temporales de la construcción por debajo del nivel del suelo en áreas urbanas congestionadas, y para abreviar el programa de construcción. Para este proyecto, se escogió una metodología de arriba hacia abajo para la mitad sur del sitio del proyecto por debajo de la base de la torre. Esto acortó el programa general de construcción, y por ende permitió reducir los costos de manejo del préstamo de la construcción y la ocupación anticipada de los inquilinos. La parte más al norte del sitio –que incluye la mitad del estacionamiento por debajo del nivel suelo, la plaza a nivel del suelo y la terraza del piso 6– se completaron utilizando métodos convencionales después de la excavación previa hacia el nivel P3 del sótano.

Los pilotes de plancha se prolongaron 15 pies por debajo de la parte inferior del eventual nivel P3 del sótano y estos fueron los que se colocaron primero en los costados oeste, oeste y sur del sitio, utilizando un hincador de prensa de empuje con una broca para barreno integrada para que ayudara a despejar los guijarros. Estos pilotes de plancha con una profundidad de un perfil de 18 pulgadas y una brida de un grosor de casi $\frac{3}{4}$ de pulgada que eventualmente se convertirían en los muros terminados del sótano.



Figura 2: Instalación de pilotes de plancha

El extremo norte del sitio está circundado por un subterráneo grande. La bóveda del Departamento de Agua y Energía (DWP – por sus siglas en inglés) de Los Ángeles y un estacionamiento para una propiedad adyacente, el cual se prolonga un solo nivel por debajo del nivel del suelo. Con los muros de pilotes de plancha ahora en su lugar, la excavación se realizó para llevar el nivel a todo el sitio (zonas de la técnica de la parte superior hacia la inferior y convencionales) hasta un piso por debajo del nivel P1 del sótano (ver Figura 3). Para esta condición no se requirió de apuntalamientos temporales dado que los pilotes de plancha tuvieron la capacidad de colocar en voladizo al piso sencillo. Dentro de lo construido de manera convencional en la zona norte, se instalaron tirantes a través de los pilotes de plancha a fin de permitir las excavaciones adicionales en una etapa subsecuente. Una rampa con muro de contención en el lado norte del sitio permitió el acceso hacia adentro y hacia afuera de la excavación.

Dentro de la zona de construcción de la parte superior hacia la inferior, se colocaron fustes perforados como los elementos de la cimentación para las columnas de la torre y los núcleos de los muros de cortante. Después de la perforación y del encofrado temporal, se hicieron descender jaulas de varilla dentro de las columnas y concreto vía un embudo hasta una elevación que fuera consistente con la parte inferior del nivel P3 del sótano. Dentro de las columnas se hicieron descender columnas de concreto precolado de un alto de dos pisos que se prolongan desde los niveles P3 al P1 en el interior de los fustes y se colocaron en su lugar. Antes de retirar el encofrado

temporal, en el espacio intersticial entre la columna precolada y las laterales del orificio se colocó gravilla.



Figura 3: Excavación hasta el nivel P1

En la zona de construcción de la parte superior hacia la inferior del sitio, se coló una losa de desecho de concreto de baja resistencia temporal sobre el nivel del suelo para permitir un formado uniforme y el contar con una superficie de trabajo, seguida de la colocación de la losa P1 del sótano. Con los muros de los pilotes de plancha, los fustes perforados, las columnas y losa P1 ahora en su lugar, se pudo proceder con la construcción de la torre hacia arriba antes de llevar la excavación más hacia abajo. Las columnas, núcleos de los muros de cortante y las losas hasta el piso 4 se colocaron de manera convencional, y la losa P1 se utilizó como la base para el re-apuntalamiento. Ver Figura 4.



Figura 4: Losa P1 en su lugar, la construcción procedió hacia arriba en la zona de la parte superior hacia la inferior

Luego se procedió con la excavación por debajo de la losa P1, teniendo especial cuidado cuando la parte inferior de la losa P1 (la cual estaba protegida de cierta forma por la losa de

desecho) y la gravilla que rodeaba las columnas precoladas se expusieron a la vista. Esta "operación de socavado" se continuó hasta los límites de la excavación más baja por debajo de la losa del nivel eventual P3 del sótano.

Dado que la losa P1 ahora eficazmente arriostraban los muros de pilotes de plancha del sótano, y que estos muros tenían la capacidad de extenderse entre la parte inferior de la excavación y del nivel P1, no se requirió el uso de tirantes dentro de la zona de construcción de la parte superior hacia la inferior. La colocación del resto de la estructura por debajo del nivel del suelo dentro de la zona de construcción de la parte superior hacia la inferior –incluyendo las vigas a nivel del piso, la losa P3 y la losa P2 – continuadas posteriormente, todo mientras la construcción de la torre continuaba hacia arriba. Ver Figura 4.

Debido a su compatibilidad con el resto de la construcción de concreto, para las columnas de gravedad de dos pisos que se prolongaban desde los niveles P3 al P1 del sótano dentro de la zona de construcción de la parte superior hacia la inferior, se eligió concreto precolado. Las varillas de refuerzo verticales se prolongaron por debajo de los extremos de la parte inferior de las columnas a fin de proveer un empalme traslapado para la compresión dentro del fuste perforado en la parte inferior, y se prolongó por arriba del extremo superior de las columnas a ser empalmadas-traslapadas o acopladas mecánicamente con las varillas de refuerzo para las columnas coladas en sitio de la parte superior.



Figura 5: Excavación de socavado por debajo de la losa P1

Para facilitar la colocación de las columnas precoladas dentro de los orificios de los fustes perforados, Malcolm Drilling diseñó y fabricó plantillas guías especiales para cada combinación de tamaño de columna y para cada diámetro de fuste perforado (ver Figura 6). Estas plantillas consistieron de un encofrado de acero de un diámetro ligeramente menor que el del fuste perforado y se incorporaron gatos ajustables que reaccionaron en contra de la superficie interior del encofrado temporal de los fustes perforados a fin de proveer cualquier ajuste necesario

para lograr la ubicación final de la columna de manera correcta.

Con la ayuda de este mecanismo guía hecho en casa (personalizado), las columnas precoladas se hicieron descender dentro de los orificios encofrados y las extensiones de varilla de la parte inferior ahogadas dentro del concreto del fuste perforado en la parte inferior (ver Figura 7). Para prevenir que el concreto dentro del fuste perforado se fraguara antes de colocar la columna, se utilizó un retardante. Luego las columnas se fijaron en su ubicación y elevación apropiada hasta que el concreto dentro del fuste perforado fraguó lo suficiente para soportar el peso.



Figura 6: Plantilla para la instalación de columnas



Figura 7: Bajada de la columna precolada de gravedad para colocarla en su lugar

Dadas las incertidumbres inherentes asociadas con el terminado de una conexión de varillas ciegas ahogadas a 25 pies por debajo de un orificio, en forma subsecuente se bombeó lechada de alta resistencia no encogible a través de un puerto de 2 pulgadas de diámetro en el centro de cada columna precolada hacia el interior de la junta columna-al-fuste para asegurarse de contar con un contacto completo y competente de soporte entre la parte inferior de la columna y la parte superior del fuste perforado en la parte inferior.

Dentro de las columnas precoladas en las elevaciones de las losas P2 y P3, se colaron estratégicamente insertos de clavija encordados y chavetas deprimidas de $\frac{3}{4}$ de pulgada para las conexiones eventuales con las vigas del nivel del suelo, la losa P2 elevada y las vigas elevadas.

La construcción de los muros de cortante por debajo del nivel P1 del sótano se inició en forma muy similar al utilizado para las columnas, con los esquineros en forma de L de los núcleos de los muros de cortante colados en planta y colocados hasta la parte superior del diámetro mayor de los fustes perforados. Estos esquineros se colaron con insertos de clavija encordados y chavetas horizontales a lo largo de toda la longitud de estas caras verticales en contacto eventual con el resto de los muros (ver Figura 8). En lugar de clavijas de varilla en su base, dentro de una prolongación por debajo de cada una de las columnas en forma de L, se coló una sección de brida de acero amplia W12 empotrada con espárragos de corte guiados. Esta forma W12 se colocó ahogada dentro del fuste perforado por debajo de forma tal que fuera capaz de transferir las fuerzas de levante debido a un evento sísmico desde el muro de cortante, hacia dentro del fuste perforado. Los paneles restantes del muro entre los esquineros precolados se reforzaron y se colaron en sitio después de completar la excavación dentro de la zona de construcción de la parte superior hacia la inferior y durante la construcción subsecuente del sótano.



Figura 8: Esquina del núcleo del muro de cortante precolado antes de su instalación

La innovación de los pilotes de plancha

El uso de pilotes de plancha en acero como un muro permanente para el sótano, aún cuando se ha empleado de manera exitosa en Europa y en unos pocos puntos de los Estados Unidos de América, era una tecnología nueva y no probada para la Ciudad de Los Ángeles. Ésta se eligió para este proyecto principalmente debido a su velocidad en la instalación y las ventajas de facilitar la construcción de la parte superior hacia la inferior. Dado que las mismas secciones estándar de pilotes de plancha que se utilizan con mayor generalidad para aplicaciones marinas y otras cimentaciones son los que se emplearon aquí, también eran fáciles de conseguir. Además, la instalación de pilotes de plancha se podía hacer con las mismas tolerancias que la construcción convencional de concreto.

Los pilotes de plancha, en forma tradicional, se hincan en secciones mediante el uso de martillos vibradores o martinetes, con las secciones unidas con interbloques verticales. Debido a las implicaciones negativas del martillado o la vibración ruidosa en los edificios cercanos del ámbito urbano del área sur del centro de Los Ángeles, así como por la presencia de grandes guijarros en el sitio, se utilizó un piloteador de prensa “silencioso” para gatear o presionar hidráulicamente las planchas del pilote y colocarlas en su lugar. El piloteador de prensa se equipó con una broca previa al barrenado que mitigara los efectos de los guijarros grandes durante la instalación de los pilotes de plancha. Al piloteador de prensa se le guió por láser, utilizado antes de colocar las secciones como pilotes de reacción, y fue un avance automático. El nivel del ruido durante la instalación de los pilotes fue, a groso modo, equivalente al hecho por un semi-camión y las vibraciones prácticamente no se presentaron. Después de la excavación, las costuras de interbloqueo que unían las secciones individuales de los pilotes de plancha se soldaron con soldadura de sello no estructural, a las cuales se les sujetó posteriormente a una inspección visual periódica y a un programa de pruebas con partículas magnéticas. Estas soldaduras completaron un tipo de construcción de muro para sótano que es impermeable y forma una barrera contra el metano. Ver Figura 9.



Figura 9: Pruebas con partículas magnéticas después del soldado de los pilotes de plancha

El avance de los pilotes de plancha a través de la grava y guijarros superiores en los 20 a 30 pies por arriba del suelo de la sub-superficie se facilitó por el perforado previo en el borde guía de cada mitad de la plancha. Este perforado previo aflojó los suelos y redujo de manera eficaz las tensiones de confinamiento lateral. Se instaló un total de aproximadamente 400 secciones de medias planchas de pilotes de plancha a una profundidad de alrededor de 46 pies, lo cual proveyó de aproximadamente 800 pies lineales de apoyo de apuntalamiento temporal para las excavaciones subsecuentes, así como para los muros permanentes del edificio por debajo del nivel del suelo.

En donde terminan los muros de los pilotes de plancha, se requirió una conexión directa y positiva a lo largo de la unión vertical entre el pilote de plancha y la construcción del muro de concreto adyacente. En la esquina noroeste del sitio, para conectar el muro de pilotes de plancha con el muro existente de la bóveda DWP de concreto, se utilizó un ángulo continuo de acero. Este ángulo se aseguró a los pilotes de plancha con una soldadura de filete continua y al muro de la bóveda con anclajes con adhesivo. En los otros pocos puntos en donde no se utilizaron pilotes de plancha, tales como en la esquina noreste del sitio, a la última sección del pilote de plancha se soldaron anclajes de clavija con varilla deformada y se traslaparon con refuerzos horizontales dentro del muro de concreto lanzado adyacente del sótano.

En la conexión entre la losa del piso del nivel del suelo y los muros del perímetro de los pilotes de plancha, anclajes de varilla deformada soldada facilitan la transferencia de las fuerzas del viento o del diafragma sísmico desde los muros de núcleo interiores hasta los pilotes de plancha. Luego las fuerzas en plano se transfieren de los pilotes en plancha hacia el interior del suelo adyacente utilizando las capacidades de fricción que resultan de las presiones laterales del suelo que actúan en forma normal hacia la cara exterior del muro. Un coeficiente de fricción de suelo a acero de 0.35 fue el que se utilizó en las bridas de los pilotes externos y un coeficiente de 0.75 de fricción de suelo a suelo fue el que se utilizó entre estas bridas externas. En forma conservadora, las presiones laterales dentro del 20% superior de la altura del suelo retenido se ignoraron.

Las losas de los niveles P1 y P2 del sótano se conectaron a los muros exteriores de los pilotes de plancha con únicamente un ángulo de encofrado en acero. Este ángulo de encofrado es una característica redundante, ya que una hilera de columnas del edificio se ubica justo a unos cuantos pies dentro del perímetro de los pilotes de plancha, por ende, eliminando la necesidad de que los muros de pilotes de plancha soporten las cargas de gravedad. En la fase del diseño del proyecto, el muro de los pilotes de plancha no había sido todavía aprobado como un conjunto clasificado para un incendio de cuatro horas, lo cual es lo requerido para muros de soporte de carga de gravedad en sótanos en la Ciudad de Los Ángeles (LABC, 2002). (Es importante hacer notar que las pruebas patrocinadas por el fabricante de los pilotes de plancha, Nucor

Skyline, desde esa época se han completado exitosamente por parte de un organismo de pruebas aprobado, por ende permitiendo que los muros de pilotes de plancha soporten las cargas de gravedad en proyectos futuros).

La aprobación del uso de los pilotes de plancha en este proyecto involucró un esfuerzo integral del equipo de diseño, contratista general, fabricante de los pilotes de plancha e instalador de los mismos a fin de abordar y contestar todas las cuestiones presentadas por los organismos que otorgan los permisos de la Ciudad.

Observación de la parte inferior de un fuste perforado

Como se mencionó anteriormente, la perforación de los fustes de cimentación se realizó desde el nivel P1. Al momento de la construcción de los fustes, los 20 pies superiores del suelo se encontraban dentro de los límites de la excavación para los niveles P-2 y P-3. Por ello, el fuste de la cimentación empieza a aproximadamente 20 pies por debajo de la superficie del nivel del suelo al momento del perforado.

La presencia de una capa de agua subterránea colgada en el sitio impactó la construcción de los fustes perforados, y en la mayoría de los orificios perforados se utilizó lodo de perforación y/o encofrados a fin de minimizar el socavamiento de los muros laterales del fuste. El diámetro de los fustes varió de 3 a 6 pies y se diseñaron para desarrollar su resistencia en el apoyo del extremo. Por ello, se requirió una observación cuidadosa de la parte inferior de la excavación del fuste a fin de asegurarse que se retiraran los materiales sueltos de manera adecuada.

La capacidad de los fustes perforados fue del orden del 2,100 kips, resultando en una presión de carga de más de 35 toneladas por pie cuadrado aplicada en la punta del fuste.

Para realizar las observaciones necesarias en la parte inferior, el ingeniero geotécnico fabricó una cámara de inspección de fustes perforados (DSID – por sus siglas en inglés) en casa-personalizada (ver Figura 10). El dispositivo consiste de una campana de 24 pulgadas que aloja una cámara de video, agua y líneas de aire comprimido. La campana está equipada con cuchillas triangulares ranuradas etiquetadas en incrementos de media pulgada. Cuando se ve en forma remota a través de la cámara de fibra óptica, se puede observar la profundidad de la penetración de la campana hacia el interior de la parte inferior de la excavación del fuste.



Figura 10: Dispositivo de inspección de fustes perforados

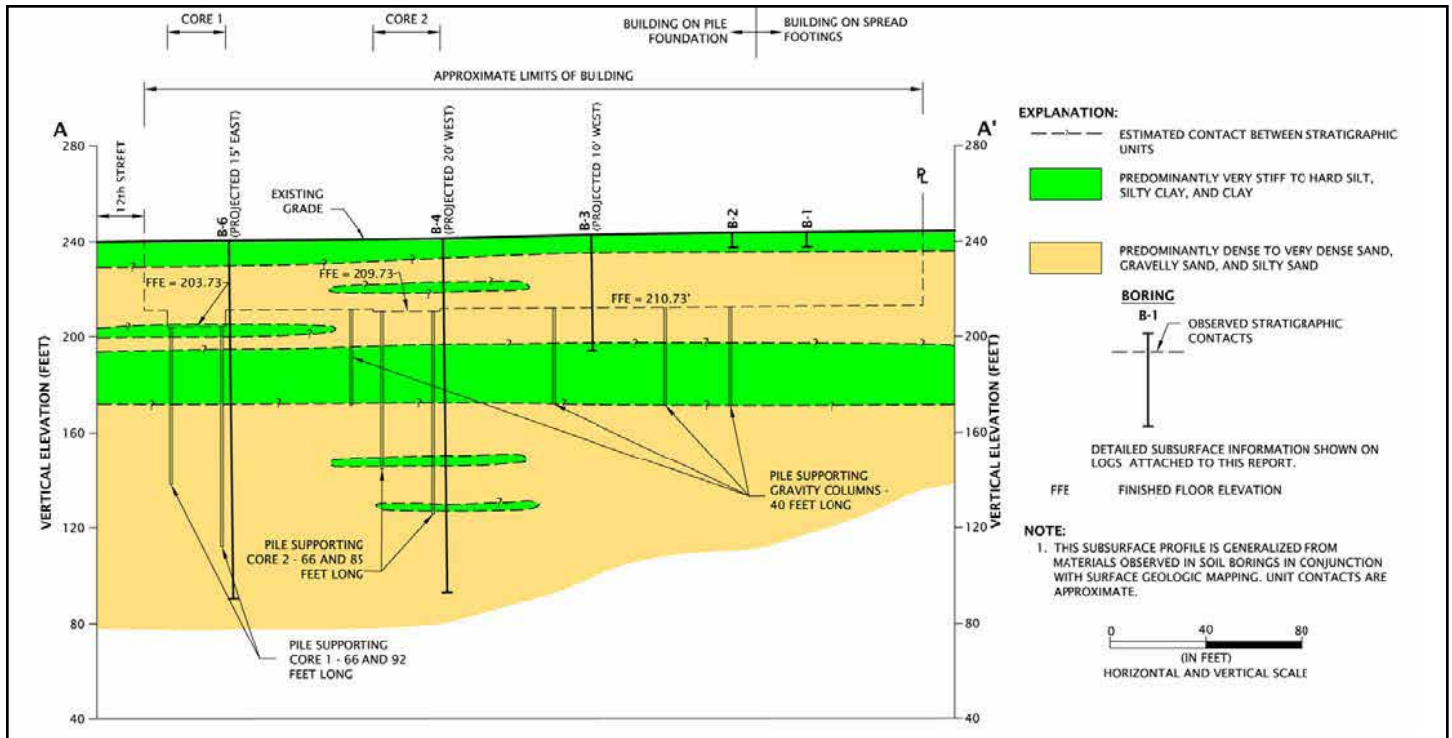
La secuencia para la observación de la parte inferior del fuste incluye por lo menos una pasada con un cucharón de limpieza por parte del contratista de perforación, bajar el dispositivo a la parte inferior del fuste, activar la línea de aire comprimido para forzar al lodo de perforación y ver la cantidad de la penetración de la campana. Se hicieron varias observaciones en cada fuste perforado a fin de proporcionar una cobertura por sobre las partes inferiores de gran diámetro del fuste.

El video se alimenta a una televisión remota y es visualizado y narrado por el ingeniero geotécnico. Una grabación completa de video y audio de cada observación se guarda en formato electrónico y posteriormente se transfiere a los medios apropiados.

Discusión de las condiciones geotécnicas

Los barrenos de la exploración geotécnica se perforaron utilizando una combinación de equipo de perforación con barrenas de vástago hueco y equipo de perforación de barrena con un cucharón de amplio diámetro. Las profundidades de los barrenos variaron de 150 pies por debajo de la superficie del nivel del suelo existente. Los barrenos de gran diámetro se perforaron para proveerle al contratista a cargo de la perforación de la cimentación de un estimado de las capacidades de firmeza de los muros laterales del fuste; para indicar la presencia de cualquier capa de agua subterránea colgada; y para ayudar a evaluar la necesidad de provisiones especiales para minimizar o mitigar el socavado de los muros laterales del fuste perforado.

El sitio se encuentra por debajo de sedimentos ribereños no consolidados consistentes de capas de arcilla, cieno, arenas y gravas que se extienden a profundidades de aproximadamente 200 pies por debajo de la superficie del nivel del suelo (bgs – por sus siglas en inglés). El acuífero primario del agua subterránea en el sitio se encuentra a una profundidad superior a los 150 pies bgs, aún cuando las zonas someras de la capa de agua subterránea colgada por lo general se encuentran presentes por arriba de los depósitos cohesivos.



En las excavaciones de los fustes perforados se encontró una capa de agua subterránea colgada.

Los suelos en el sitio incluyeron hasta 5 pies de materiales de relleno que yacían por encima de cieno de medio a muy rígido y arcilla a profundidades de aproximadamente 15 pies bgs. Por debajo del cieno y de la arcilla superior se encuentran presentes arena con grava y guijarros muy densos de bien graduados a deficientemente graduados, que por lo general se extienden a aproximadamente 45 pies BGS. Las capas generales de arena densa incluyen capas y lentillas de cieno ocasionales de rígidas a muy rígidas y, capas densas de arena cenagosa. Por debajo de la capa de arena densa y grava a una profundidad de aproximadamente 70 pies, se encontró arcilla cenagosa de rígida a muy rígida y, esa capa por lo general se encuentra por debajo de arena densa hasta las profundidades exploradas. En la Figura 11 se muestra una sección geológica transversal.

El sitio del proyecto se ubica dentro de la Ciudad de Los Ángeles en una zona designada como de metano, y se requiere protección en contra del metano, así como en contra de las infiltraciones al interior del edificio.

De manera interesante, al momento del perforado con barrenado durante los meses de verano, no se encontró ninguna capa de agua subterránea colgada; sin embargo, durante la construcción de los pilotes de plancha y de los fustes perforados, se encontró agua subterránea, esto se llevó a cabo al final de la primavera. Una explicación para el agua subterránea encontrada durante la instalación de los fustes perforados es que la instalación de los pilotes de plancha puede haber atrapado capas de agua subterránea colgada dentro de los límites del sitio que hubieran podido migrar corriente abajo.

Figura 11: Sección transversal geológica

Las cimentaciones de los fustes perforados que soportan las columnas de gravedad se diseñaron para insertarse en la capa de arena densa a aproximadamente 70 pies por debajo de la superficie original del suelo y 40 pies por debajo del nivel P3. Para apoyar los muros del núcleo de la torre y las cargas sísmicas asociadas se requirieron fustes más profundos. Estos fustes se extendieron hacia arriba de 120 pies por debajo de la superficie original del suelo (85 pies por debajo del nivel P-3) y se insertaron en la capa de arena densa presente en esa profundidad.

Para la condición de los apuntalamientos temporales dentro de la zona convencional, como parte de un sistema arriostrado que incluyó anclajes de tirante se diseñaron pilotes de plancha (ver Figura 12). Para el muro permanente por debajo de la condición del nivel del suelo y para la condición de los apuntalamientos temporales dentro de la zona de construcción desde la parte superior hacia la inferior, se proveyeron arriostramientos internos mediante las losas del piso del nivel del suelo y de los niveles P3, P2 y P1. Debido al potencial de capas de agua subterránea colgada periódicas, la sección más baja de los pilotes de plancha se diseñó para resistir la presión hidrostática además de la presión activa de la carga del suelo.

Dado que la excavación se prolongó por debajo del nivel subterráneo de la bóveda DWP adyacente, los muros de la bóveda adyacente se apoyaron durante la construcción mediante técnicas de apuntalamientos convencionales. Esto incluyó la instalación de pilotes soldado, ubicados inmediatamente en frente de los muros existentes y perforados en forma sesgada a un ángulo muy ligero, los cuales se hicieron bascular para colocarlos dentro de su lugar y se alinearon por

debajo de la cimentación adyacente. Las placas de apoyo se acoplaron y calzaron a fin de proveer un apoyo positivo para la cimentación de la torre adyacente. Ver Figura 13



Figura 12: Instalación y tensado de los tirantes en los pilotes de plancha dentro de la zona convencional

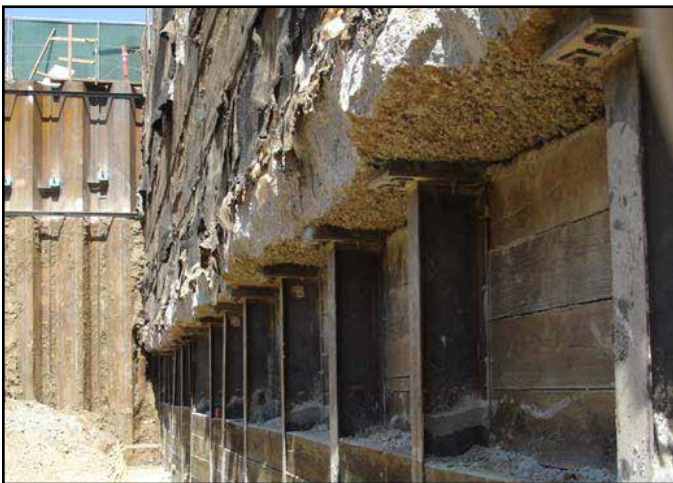


Figura 13: Apuntalamiento en la conclusión de la bóveda DWP existente

El uso del método de construcción de la parte superior hacia la inferior en este proyecto generó un ahorro de aproximadamente dos meses en el programa de la construcción gracias a la habilidad inherente de la metodología de construcción de la parte superior hacia la inferior para retirar de la ruta crítica los componentes de construcción por debajo del nivel del suelo. La construcción de la torre por arriba del nivel del suelo se pudo proseguir al mismo tiempo que la construcción por debajo del nivel del suelo dentro de la misma base. El uso de elementos verticales de concreto precolado en planta desde los niveles P3 al P1 del sótano permitió la fabricación previa, mejor calidad y tolerancias más estrictas de tales elementos.

Con el uso de los pilotes de plancha como construcción para el muro del sótano a lo largo de los tres costados del sitio, se obtuvieron ventajas adicionales. Los pilotes de plancha se pudieron colocar en su totalidad antes de iniciar la excavación, por lo cual no se requirieron de zapatas ni pilotes para soportarlo, y sirvieron como apuntalamientos tanto temporales como para el muro terminado del sótano. Siendo una barrera impermeable tanto al agua como a la transmisión de metano, eliminó la necesidad de una membrana separada en su parte posterior.

Reconocimientos

Los autores de este documento desean agradecer al Sr. Roger Zimmerman, anteriormente de Malcolm Drilling, Inc. y al Sr. Jaime Albornoz, anteriormente de GeoDesign, Inc. El Sr. Zimmerman fue el responsable de muchas de las innovaciones en el diseño y en la construcción, incluyendo la fabricación de la plantilla guía para la instalación de fustes perforados. Su energía, diseño y simpleza en la construcción, así como el enfoque colaborador hacia este trabajo inspiraron al equipo de diseño y construcción. El Sr. Zimmerman murió en enero de 2008 después de una batalla de tres años en contra del cáncer.

El Sr. Albornoz realizó componentes clave de la investigación geotécnica y prácticamente la totalidad de los cálculos de diseño geotécnico. También condujo las observaciones y las pruebas geotécnicas en campo, las cuales incluyeron obtener el permiso de la Ciudad para utilizar el dispositivo de instalación remota de fustes, así como la implementación de este dispositivo en campo durante la construcción. El Sr. Albornoz contribuyó con un enfoque positivo y colaborador a este trabajo, el cual fue reflejado por otros miembros del equipo de diseño y construcción en sus interacciones con él. El Sr. Albornoz murió en marzo de 2008 después de un trágico accidente automovilístico en el Domingo de Pascua. Los autores de este documento le deben una gran deuda al Sr. Zimmerman y al Sr. Albornoz, y desean que sus contribuciones a este proyecto se reconozcan.

Referencias

ICBO, 2002, California Building Code, California Code of Regulations, Title 24, Part 2, Vol. 2, 2001 edition, pp. 2-38.39, 2-163, International Conference of Building Officials, Whittier, CA.

Paulay, T., and Priestley, M. J. N., 1992, Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, pp. 376 thru 377, John Wiley & Sons, Inc., March 1992.

Hindi, R., and Hassan, M., "Effect of Confinement on the Behavior of Diagonally Reinforced Coupling Beams," 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 3046, August 2004.

Compliments of:

NUCOR®
SKYLINE

Phone: 888-450-4330 | www.nucorskyline.com

