

ESTUDIO DE SUELOS Y ANÁLISIS DE CIMENTACIÓN
CENTRO INTERNACIONAL DE CONVENCIONES DE BOGOTÁ
CÁMARA DE COMERCIO
DANIEL BERMÚDEZ Y CÍA. – HERREROS ARQUITECTOS LFO 13730A

Este informe tiene como finalidad presentar los resultados del estudio de suelos y análisis de cimentación para el edificio del Centro Internacional de Convenciones de Bogotá, que será construido por la Cámara de Comercio al costado sur de las instalaciones de la Feria de Exposiciones S.A. Corferias, en terrenos del actual parqueadero. De manera más exacta el lote del parqueadero está entre las Carreras 38 y 40 o Avenida Pedro León Trabagay y entre el edificio de parqueaderos en altura, al norte de la Avenida El Ferrocarril y al sur de la Avenida La Esperanza o Calle 27C.

Es importante anotar que este informe reemplaza los estudios presentados por esta oficina en febrero 17 de 2012 y en agosto 13 de 2012. Actualmente se cuenta con un proyecto arquitectónico más completo, además de la totalidad de los sondeos efectuados tanto por esta oficina como para el estudio preliminar. Este

informe se refiere a la alternativa 3 con dos niveles subterráneos y un salón de convenciones en el quinto piso con nivel horizontal.

El lote en estudio está actualmente ocupado por el parqueadero, como ya se indicó y estructuras de apoyo para Corferias. Además el parqueadero está levantado con relación al andén de la Carrera 40 en una altura cercana a 1.5 m. Inmediatamente al sur está el edificio de parqueo en varios niveles que, de acuerdo a información de Sáenz Ruíz Cadena, fue cimentado sobre pilotes cortos.

PROYECTO ARQUITECTÓNICO

El área del lote del proyecto es de 22.500 m² aproximadamente y dentro de esta se construirán 14.000 m² en una edificación que cuenta con dos niveles subterráneos cuyo uso principal es de parqueo de vehículos, pero también incluyen las cocinas, bodegas y otros servicios menores. Los sótanos estarán en la cota -6.2 m (2551.22 cota de elevación) del proyecto, cuyo 0.0 (cota 2257.42) coincide aproximadamente con el nivel promedio de la Avenida La Esperanza frente al terreno. Además el edificio tiene un semisótano, el vestíbulo principal en el nivel +2.0 m, de gran altura, tres pisos periféricos adicionales con salas de reunión, lobbys, etc., un quinto piso para un salón de conferencias o auditorio plano o

inclinado según se escoja. El auditorio al nivel de quinto piso está localizado en la cota +34.50 m, sobre el nivel 0.0 establecido en el andén de la Vía. El bloque central, donde se encuentran la sala de exposición, el auditorio y las estructuras de apoyo, cuenta con cuatro puntos fijos en las esquinas, que tomarán la totalidad de la carga de la edificación en altura y la llevarán a nivel de fundación. En el perímetro se encuentran las columnas de las plataformas de 2 y 3 niveles. Igualmente están las columnas entre puntos fijos y las columnas de sótanos en las zonas centrales, distribuidas simétricamente con luces entre ejes cuyo valor o longitud típica es de 8.1 m.

Con base en las cargas suministradas a esta oficina por los diseñadores estructurales, esto es por el Dr. Armando Palomino de la firma P.C.A. y el ingeniero Nicolás Parra, se tienen cargas en las columnas de plataforma que varían entre 82 y 230 T, y cargas mayores, entre 500 y 1000 T, en el área bajo la torre central. Además los puntos fijos principales tienen cada uno de ellos una carga total cuyos valores están entre 7500 y 9500 T.

GEOLOGÍA GENERAL Y PERFIL SÍSMICO

El Centro Internacional de Convenciones de Bogotá CICB se encuentra localizado en una zona de depósito lacustre. Este depósito de origen cuaternario presenta espesores superiores a los 200 m y para la definición de las características sísmicas se realizó un ensayo Down Hole, en cuyos resultados se puede ver que las velocidades de onda de cortante varían entre 160 y 240 m/seg en los primeros 50 m. De los 50 m hasta una profundidad de 110 m la velocidad de onda de cortante varía entre 240 y 280 m/seg y a partir de esta profundidad aumenta a valores de 400 a 500 m/seg. Con base en la definición de la norma NSR-10 para esta velocidad de cortante el perfil de suelo es tipo E.

El lote en estudio se encuentra localizado dentro de la zona lacustre aluvial 200 de acuerdo con la Microzonificación Sísmica de Bogotá, Decreto 523 de 2010. El ingeniero calculista debe verificar la localización exacta del predio mediante los planos de microzonificación que se encuentran en las curadurías urbanas, con el fin de utilizar el espectro de respuesta correspondiente.

EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Para la ejecución del estudio de suelos se cuenta con la información suministrada a todos los consultores, correspondiente al estudio de suelos preliminar realizado por la firma Alfonso Uribe S. y Cía. en mayo de 2011. Para el estudio inicial se realizaron nueve sondeos cuya localización y perfiles estratigráficos se presentan en el plano 2 del anexo A. Como complemento y corroboración de esta información. Nuestra oficina realizó siete sondeos adicionales cuya localización y perfiles estratigráficos aparecen en el plano de sondeos adjunto al final del informe. Los sondeos Nos. 1, 2, 3, 6 y 7 se llevaron a profundidades entre 30.6 y 66.1 m bajo el nivel de la superficie. Únicamente el sondeo No. 6 llegó a los 30.5 m de profundidad, mientras que los otros cuatro sondeos profundos alcanzaron niveles entre 51.2 y 66.1 m. Así mismo los sondeos Nos. 4 y 5 se llevaron a profundidades de 20.7 y 20.9 m.

Todos los sondeos fueron realizados con equipo de percusión y lavado con el cual se realizaron ensayos de resistencia a la penetración estándar SPT y se obtuvieron muestras remoldeadas en cada uno de los puntos de ensayo SPT. Igualmente se obtuvieron muestras inalteradas en tubo de pared delgada tipo Shelby, provenientes de los sondeos Nos. 2 y 7, muestras que se consideraron

representativas de las capas de suelo que conforman el perfil estratigráfico; sobre estas muestras inalteradas se realizaron ensayos de consolidación, compresión inconfineda, clasificación y humedad natural. Igualmente se llevaron a cabo ensayos de humedad natural y clasificación sobre buen número de muestras provenientes del sondeo No. B.

PERFIL ESTRATIGRÁFICO

Los suelos del perfil estratigráfico generalizado se describen así:

- a. 0.0 – 0.30/2.20 m. Rellenos heterogéneos. Tienen capa de asfalto, recebo compactado, arcillas y tierras varias, piedras de manera errática y en un punto también algo de basura.
- b. 0.30/2.20 – 3.40/8.20 m. Arcillas cafés y limos arcillosos gris oscuro y café, de consistencia alta a media.
- c. 3.40/8.20 – 6.0/11.90 m. Capas delgadas de arena fina café y gris, en algunos puntos grava gris, intercaladas con limos arenosos cafés. Las capas

de arena tienen espesores entre 80 cm y 5.0 m y una densidad media. Los limos intercalados tienen una consistencia media.

- d. 6.0/11.90 – 39.60/48.80 m. Limos arcillosos y ocasionalmente arenosos de consistencia media a alta y color gris oscuro a gris carmelita. Estos están intercalados con delgadas capas de arena a los 20 o 21 m en algunos de los sondeos y con una capa de limo con madera descompuesta a los 30 m.
- e. 39.60/48.80 – 66 m. En tres de los sondeos que alcanzaron profundidades por debajo de los 40.0 m (Nos. 2, 3 y 7) aparece una capa de arena densa y un espesor cercano a 3.0 m. En los otros sondeos y por debajo de los 40.0 m, o bajo las arenas en los sondeos 2, 3 y 7 hay limos arcillosos de color gris verdoso y café de consistencia alta hasta los 60 m de profundidad.

El nivel de agua libre se detectó en los sondeos realizados por esta oficina a profundidades entre 5.0 y 6.0 m bajo la superficie. Sin embargo en los sondeos preliminares realizados por Alfonso Uribe y Cía. apareció un nivel de agua más superficialmente; posiblemente aguas recogidas en los rellenos heterogéneos superficiales.

Se anota que los resultados de la exploración inicial con nueve sondeos quedaron corroborados con las siete perforaciones realizadas por nuestra oficina, por lo cual se consideran válidos los dieciséis sondeos efectuados en el terreno para determinar las características geomecánicas de los suelos que conforman el perfil estratigráfico hasta 66 m de profundidad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con lo anterior se ha concluido que la cimentación más adecuada para este Centro de Convenciones está formada por pilotes preexcavados y fundidos in situ los cuales trabajarán por fricción en los suelos limoarcillosos del perfil y tomarán el 100% del peso muerto del edificio y zonas de plataforma. Como complemento de estos pilotes y en una franja periférica que forma parte del bloque central, del orden de 18 a 20 m de ancho se construirá una placa de cimentación de concreto que debe tomar como mínimo una carga de 4.5 T/m^2 .

La placa será diseñada de acuerdo con el criterio del ingeniero calculista y para su diseño se puede utilizar una constante de resorte o módulo de reacción de la subrasante K_s que varía entre 200 y 500 T/m^3 .

Las demás zonas de la edificación, eso es plataformas y zona central contarán con una cimentación con pilotes exclusivamente. Los pilotes de la zona correspondiente a los cuatros puntos fijos o lo que es lo mismo, franja periférica del bloque central, llegarán a 48 m o más de profundidad bajo la superficie actual. Los pilotes de la zona restante central (sala de exposición) y los pilotes de plataforma llegarán a 40 m de profundidad como mínimo bajo el andén.

Para el diseño de los elementos de fundación se pueden utilizar los cuadros de capacidad de soporte adjuntos. Los pilotes deben quedar separados entre sí como mínimo 2.0 veces su diámetro entre bordes o tres veces entre centros y serán de tipo preexcavado y fundido in situ.

Con este sistema de cimentación se han calculado asentamientos teóricos máximo con valor de 10 cm con diferenciales inferiores a 3 cm. Se aclara que la zona central con carga repartida liviana, donde se ha localizado el vestíbulo principal sufrirá movimientos debidos al rebote del terreno como producto de alivio por excavación en una altura de dos sótanos.

Las zonas de plataforma al igual que la zona central más liviana contará con una placa de contrapiso convencional de 12 cm de espesor, apoyada en una base o

cama filtrante de 30 cm de espesor, interconectada a pozos de eyección automática. La cama filtrante en triturado o macadam de 1" a 2", libre de arenas y finos, se apoyará en una tela geotextil no tejida, tipo Pavco 2100 o Fibertex F25, que a su vez estará sobre el suelo de subrasante, formado por limos arcillosos y arenosos de color gris carmelita.

La placa de concreto debe contar con juntas en cuadrícula, por trabazón de agregados y juntas constructivas, máximo cada 4.0 m y el refuerzo que considere necesario el calculista para retracción y cambios de temperatura.

Para el diseño de los muros de contención se puede utilizar el diagrama de presión de tierra adjunto. Este diagrama trapezoidal, contempla un coeficiente de esfuerzo lateral $K_a = 0.40$, que se incrementa ante un sismo posible, a $K_a = 0.5$. Estos muros serán en concreto fundidos con el sistema de cuchara de gravedad desde la superficie actual del terreno. En el anexo D se dan las recomendaciones para diseño y construcción de pilotes y en el anexo E las recomendaciones para diseño y construcción de muros de contención tipo pantalla.

PROCESO CONSTRUCTIVO

Inicialmente se nivelará, si es posible, todo el terreno y una franja periférica de 10.0 m de ancho a la cota 0.0 o nivel 2557.42 luego se procederá desde este nivel a construir los muros de contención tipo pantalla y los pilotes de cimentación de toda la edificación.

Una vez concluidos los trabajos de construcción desde la superficie se procederá a construir las vigas cabezales de la pantalla con diagonales y cartelas en concreto en las esquinas con catetos de 10 m, lo cual resulta en una luz máxima de viga de 14 m de longitud.

Se realizará una excavación general a 4 m de profundidad, por lo tanto las pantallas deben ser diseñadas para soportar en voladizo esta altura de excavación. Las pantallas contarán con una longitud de empotramiento como mínimo del 70% de la altura total de excavación. Por lo cual, bajo el 0.0 se tiene una altura de excavación de 6.2, un empotramiento de 4.5 y una profundidad de pantallas bajo el 0.0 de 10.7 m (12.2 bajo la superficie actual) sobrepasando y sellando la capa de arena que llega hasta los 12 m de profundidad. Se debe verificar que el

empotramiento total para 4 m de voladizo sea suficiente para el soporte de las presiones de tierra del sistema.

Una vez concluida la excavación general a -4.0 m se procederá a realizar excavaciones longitudinales cubriendo el área de la placa de los puntos fijos hasta la cota -6.2 m. Se destaparán los pilotes de cimentación y se fundirá la placa de concreto en el tramo excavado. Se subirá la estructura y se continuará con la superestructura mientras se realiza la excavación de los ejes adicionales. La construcción de los puntos fijos centrales permitirá construir los anillos o franjas en cuadro en los diferentes niveles de sótano, contra los cuales se podrán ir apuntalando las estructuras de contención de plataforma. Una vez apuntalados los muros de contención en el nivel -4.0 m desde los puntos fijos se pueden excavar las zonas de plataforma en trincheras o franjas de 8.0 a 10.0 m de ancho máximo.

Es necesario promover una reunión con los ingenieros contratistas de excavación, los diseñadores estructurales y el ingeniero de suelos, con el fin de aclarar y ampliar las recomendaciones de excavación dadas antes.

INSTRUMENTACIÓN

1. Levantamientos topográficos

Se deben colocar puntos de nivel de manera periférica a la obra en una cantidad suficiente para observar asentamientos de vías y andenes, así como asentamientos de edificaciones vecinas. Puesto que las edificaciones cercanas aparentemente tienen cimentaciones superficiales, se requiere un gran número de puntos en cada una de las edificaciones vecinas (por lo menos 10 puntos en cada una), mientras que en los andenes y vías se deben instalar al menos 50 puntos para obtención de niveles.

En cada paramento de las pantallas, en su cabeza, se deben colocar al menos 5 puntos de nivel, los cuales podrán servir para medición de desplazamientos horizontales al nivel 0.0 durante todo el proceso constructivo.

2. Inclínómetros

Se recomienda la instalación de al menos 4 inclinómetros, los cuales deberán quedar localizados inmediatamente detrás de las pantallas o entre las mismas

en los sitios donde no sea posible hacerlos detrás. De todas formas es recomendable que queden por fuera. Los inclinómetros se llevarán a una profundidad de 25 m bajo el nivel de la superficie. Su objeto es medir pequeños desplazamientos del terreno en los paramentos de la excavación y se debe verificar el funcionamiento de los muros durante el proceso.

3. Piezómetros

Con el fin de terminar la profundidad del nivel freático y la magnitud de las presiones de agua a diferentes profundidades, es necesaria la instalación de piezómetros de hilo vibrátil. Conviene instalar los piezómetros en cuatro puntos cercanos a la localización de los inclinómetros, por fuera de la obra y cerca al muro de contención.

Se recomienda que en cada punto haya dos baterías de piezómetros, uno a 15 m de profundidad y el otro a 6 m de profundidad. De esta manera se tendrán 8 piezómetros de hilo vibrátil en cuatro puntos de instalación.

Las lecturas de niveles e instrumentos geotécnicos deben hacerse al menos tres veces por semana. Los resultados de las lecturas deben ser presentados

en un informe en tabla de resumen, al día siguiente de la ejecución de las lecturas y al menos una vez por semana se debe presentar un informe de instrumentación con los resultados de todas las lecturas, a fin de ser analizados en las reuniones de obra.

OTRAS RECOMENDACIONES

Con el fin de evitar la presencia de agua escurriendo a través de los muros en la zona de sótanos se debe prever la construcción de muros falsos o secos frente a los muros de contención tipo pantalla dejando un espacio vacío para la cañuela perimetral de evacuación de agua. Igualmente deben conducirse la totalidad de aguas de los sótanos al pozo de eyección automática. Estas son aguas que pueden pasar a través de los muros pantalla o de la placa de cimentación, llevándolas por detrás de muros falsos y bajo la sobreplaca.

También es importante mantener una supervisión geotécnica del proceso de construcción de cimentaciones y excavación de sótanos. De esta manera el ingeniero geotecnista debe recibir toda la información de la instrumentación, a más tardar el día siguiente a la obtención de datos, debe llevar un control de la manera como se obtiene esta información y debe asistir a reuniones al menos

semanales con los constructores e interventores, a fin de hacer ajustes que puedan ser necesarios.

Gustosamente se aclarará cualquier duda relacionada con esta información y se ruega enviar a esta oficina copia de la planta de cimentación resultante para su oportuna revisión.

Atentamente,

LUIS FERNANDO OROZCO ROJAS

I.C. MAT. 13592 CUND.

Bogotá, octubre 1 de 2012

LFO. Sonia