



Diseño y construcción de las entibaciones para los estacionamientos subterráneos de los Tribunales de Justicia de Concepción

Fecha de entrega: 12 de Agosto 2009
Fecha de aceptación: 26 de Noviembre 2009

Paulo Oróstegui¹ y Felipe Villalobos²

¹Constructora Lancuyen Ltda., Barros Arana 492, Of. 63, Concepción, Chile, orostegui@lancuyen.cl

²Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Alonso de Ribera 2850, Concepción, Chile, avillalobos@ucsc.cl

Se describen las condiciones geotécnicas del suelo para un proyecto de estacionamientos subterráneos de dos niveles de 10423 m² en el centro de la ciudad de Concepción. El estudio geotécnico de entibaciones debe impedir deformaciones perjudiciales para el edificio histórico Tribunales de Justicia. Además, los estacionamientos se encuentran rodeados de otros edificios que varían entre 4 y 9 pisos, siendo uno de ellos también un edificio histórico. Se debe evitar cualquier alteración de los servicios de agua potable, alcantarillado, gas y electricidad. Para la excavación de 8.1 m de profundidad se adoptó como solución de contención un muro tipo Berlínés anclado, compuesto por perfiles H hincados en arena semidensa. Se utilizaron dos líneas de anclajes separados horizontalmente 3.2 m y verticalmente 3.0 m, cuya carga varía entre 300 y 520 kN respectivamente. Su emplazamiento se estudió con la finalidad de facilitar la ejecución de las diferentes etapas constructivas del proyecto. El proyecto contempló 3596 m² de muro Berlínés anclado con 314 anclajes postensados y 300 perfiles H totalizando 3200 m lineales. Se puede concluir que la solución de entibación temporal adoptada funcionó sin problemas.

Geotechnical conditions of the soil for an underground parking project of two levels are described. The project is located in the centre of the city of Concepción and the total parking area to be built was 10423 m². The excavation support design has to avoid any damage of the historic building Tribunals of Justice and the surrounding buildings, which have between four and nine floors. In addition, another building next to the parking project is classified as a historical building too. Any interference with facilities and services such as water, sewage, gas and electricity had to be avoided. For the 8.1 m depth excavation the retaining solution adopted was an anchored soldier pile wall, where the soldier piles (H section steel piles) were driven into semi dense sand. Two lines of anchors were designed separated vertically and horizontally 3 m and 3.2 m respectively. The design loads for the anchors were calculated between 300 and 520 kN. In particular, the anchors installation and placement were studied in order to not disturb the different stages of construction. The project included 3596 m² of anchored soldier pile wall with 314 post-stressed anchors and 300 soldier piles totalling 3200 m. It can be concluded that the temporary retaining solution adopted performed adequately.

Palabras clave: entibación, muro Berlínés, anclajes, suelo areno limoso, edificios históricos

Keywords: excavation support, soldier pile wall, anchors, silty sand soil, historic buildings

Introducción

Hoy en día resulta prácticamente imposible evitar la construcción de subterráneos en las grandes ciudades del mundo debido a la falta de terreno disponible y a su alto valor. La construcción de subterráneos en medio de una ciudad no sólo trae el desafío de que la excavación sea estable por sí sola, sino que en lo posible ésta no afecte negativamente a las construcciones vecinas tales como calles, monumentos y edificios. Para sostener las estructuras sobre el suelo no excavado existen varias técnicas, las cuales son aplicables para ciertos tipos de suelos y alturas de excavación. La ciudad de Concepción

junto a sus comunas aledañas han visto en la última década un gran crecimiento en proyectos de construcción no sólo de edificios de departamentos y oficinas, sino de estacionamientos subterráneos, centros comerciales y obras viales. Para sostener o entibar las excavaciones se ha utilizado mayoritariamente una técnica llamada muro Berlínés anclado. El uso de anclajes ofrece libertad de circulación dentro de la excavación y por lo tanto es más ventajosa que el uso de puntales en diagonal.

Este tipo de entibación continua es temporal y debe ser diseñada considerando las condiciones geotécnicas del suelo, la presencia de agua subterránea y la geometría de la excavación, principalmente la profundidad y ancho.



Esta técnica de entibación se basa en el hincado de perfiles de acero tipo H en el suelo antes de excavar, distanciados una longitud previamente calculada, la cual fluctúa entre 1.2 m y 3 m, siendo lo más común en el Gran Concepción usar 1.6 m. Una vez que se comienza a excavar desde la línea de perfiles se ensamblan tabloneros largos de madera entre los perfiles H. En excavaciones largas, anchas y profundas, por ejemplo de más de 10 m de largo y más de 3 m de profundidad, lo más probable es que los cálculos de deformación del muro Berlínés arrojen deformaciones muy grandes próximas a la superficie. Esto debido a que este sistema de entibación es flexible, aunque los perfiles tengan incluso grandes dimensiones de alma y alas y el espaciamiento entre ellos sea pequeño. Para solucionar este problema, no de inestabilidad o capacidad de contener la excavación sino de deformaciones horizontales y verticales que pudieran agrietar una estructura vecina, se utilizan anclajes.

Aunque los espacios que quedan entre tabloneros son muy pequeños, éstos serían suficiente para permitir el escurrimiento de aguas subterráneas presente en napas colgantes o flujos desde pequeños cursos de aguas, principalmente en obras cercanas a cerros. De no ser así, resulta fácil perforar barbacanas. Esto impide el aumento de presiones hidráulicas perjudiciales detrás del muro Berlínés. Si la excavación se encuentra a varios metros bajo la napa freática se debe recurrir al uso de punteras que depriman la napa y así evitar la inundación de la excavación.

El diseño apropiado de entibaciones depende en gran medida del conocimiento que se tenga de las propiedades geotécnicas del suelo. Es por ello fundamental la realización de investigaciones geotécnicas que entreguen valores confiables de las propiedades geomecánicas y geohidráulicas del suelo.

El presente artículo tiene por propósito describir y analizar las actuales prácticas de diseño de una estructura de contención flexible llamada muro Berlínés anclado, donde se consideran en conjunto aspectos estructurales y geotécnicos.

Este análisis luego se aplica al complejo proyecto de estacionamientos subterráneos de los Tribunales. Este trabajo surge debido a que son escasas las publicaciones técnicas disponibles que aborden en detalle el tema de entibación temporal en el Gran Concepción.

Cargas sobre un muro Berlínés

Un muro Berlínés es una estructura de contención flexible incluso si el suelo que sostiene es relativamente denso o de alta rigidez, como lo son los suelos arenosos densos o suelos cohesivos preconsolidados. Por lo tanto el empuje sobre este tipo de muros no es probable que sea en reposo ni siquiera en condiciones iniciales, dado que las deformaciones que ocurrirán en el muro no dejarán al suelo en una condición en reposo. De esta manera el empuje lateral del suelo debe ser asumido entre la condición de reposo y la condición activa de empuje. Sowers (1979) establece que el empuje activo se desarrollaría cuando el desplazamiento horizontal máximo u_{hmax} en el tope de un muro de altura h sea $u_{hmax} \geq 0.0005 h$ en suelos granulares densos y $u_{hmax} \geq 0.002 h$ en suelos granulares sueltos. En el caso de muros anclados, la estimación de cualquier empuje lateral va a depender principalmente de las cargas de pretensado de los anclajes.

El empuje activo aplica hasta el nivel de la excavación detrás del muro y después aplica el empuje pasivo delante del muro hasta la profundidad de enterramiento de los perfiles H (Figuras 2b y 3b). Tanto el empuje activo como pasivo pueden ser determinados a partir de las teorías de empuje lateral de Rankine y Coulomb. Aquellas teorías de equilibrio plástico asumen suelos homogéneos y un criterio de falla de Coulomb, todo lo cual no siempre es reproducible en suelos heterogéneos, anisotrópicos y en muros flexibles. Es por ello que han surgido normativas, directrices y resultados de investigaciones que a partir de mediciones de tensiones detrás y delante de muros en diferentes tipos de suelos recomiendan distribuciones de empujes parabólicas, triangulares, rectangulares o una combinación de aquellas.

A los empujes laterales del suelo se agregan empujes laterales debidos a cargas muertas y cargas vivas, estas últimas pueden ser cargas constantes o variables. Las recomendaciones alemanas EAB (2008) consideran una carga distribuida uniforme sobre la superficie de 10 kN/m² para representar el efecto de calles y veredas más sus cargas vivas. Es importante hacer notar que los procedimientos de cálculo están ligados a la secuencia constructiva del muro. Por ejemplo, de acuerdo a los cálculos el muro sin anclajes soportará sólo los primeros metros, para seguir excavando será necesario instalar una línea de anclajes al fondo de esta excavación inicial, es decir, a 2 m ó 2.5 m. Una vez tensados estos anclajes

se procede a excavar los siguientes 3 m ó 5 m por ejemplo para instalar otra línea de anclajes si la excavación prosigue hasta los 7 m u 8 m y así sucesivamente si la excavación continúa. EAB (2008) sugiere que si la altura desde el fondo de la excavación futura a la línea del anclaje es h , entonces el anclaje debe instalarse a $h/3$ desde el fondo de la excavación actual, dejando obviamente $2h/3$ entre la excavación actual y futura (ver Figura 1).

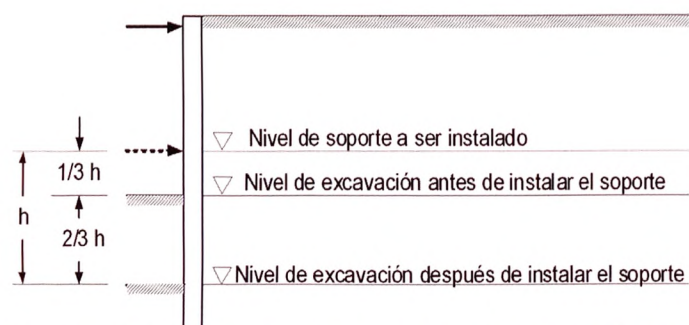


Figura 1: Límite de excavación antes de instalar el anclaje (EAB 2008)

Se recomienda evitar la presencia del agua, pero si ésta se haya presente y no puede ser eliminada durante lluvia intensa o fallan las bombas del sistema de punteras, las presiones del agua deben ser incluidas como presiones hidrostáticas e hidrodinámicas en el caso de existir flujo. Las presiones de poros en este último caso se determinan por medio de redes de flujo y líneas equipotenciales.

Equilibrio de fuerzas

En el análisis de equilibrio de fuerzas se deben incluir las presiones laterales del suelo y del agua, así como también de cargas muertas de edificios adyacentes y cargas vivas en calles circundantes, además de posibles sismos. El diseño de una entibación con un muro Berlínés debe considerar todas estas fuerzas como parte de un equilibrio de fuerzas horizontales dentro de la altura de la excavación. Donde las fuerzas resistentes ofrecidas en la interacción del suelo y el muro deben superar a las fuerzas solicitantes producto de los empujes laterales. Otro análisis a realizar corresponde a la determinación de la profundidad de penetración de los perfiles H, donde además del equilibrio de fuerzas horizontales se incluye el equilibrio de momentos (ver Figuras 2 y 3).

La carga C resulta del equilibrio de momentos y está

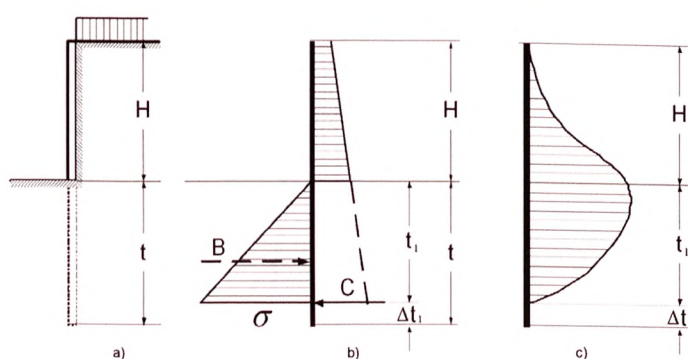


Figura 2: Muro Berlínés sin soporte lateral: (a) excavación inicial, (b) diagrama de empujes y fuerzas laterales y (c) diagrama de momentos (EAB 2008)

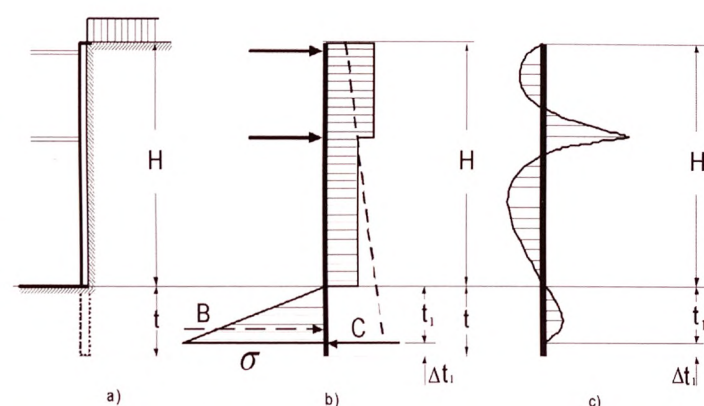


Figura 3: Muro Berlínés con dos soportes laterales (a) excavación final, (b) diagrama de empujes y fuerzas laterales y (c) diagrama de momentos (EAB 2008)

aplicada justo en el punto de rotación del muro. La lógica en el análisis es que el muro al rotar moviliza el empuje pasivo hasta una cierta profundidad t_i . En el caso del muro sin soporte lateral esta rotación ocurre desde la parte superior y en el caso del muro con soporte la rotación ocurre después del soporte más bajo. En la distancia Δt_i el empuje pasivo se traslada de la izquierda a la derecha y es por ello que aparece la fuerza C. A partir de mediciones en terreno y de análisis de redistribución de empujes se ha determinado que un cambio brusco de empuje pasivo no ocurre. Una de las primeras sugerencias para incorporar una reducción del empuje pasivo la propuso Blum (1931), la cual es mostrada en la Figura 4.

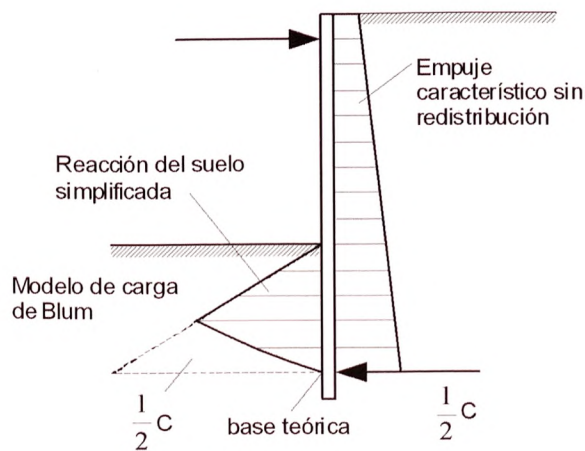


Figura 4: Reacción del suelo según Blum (1931)

Proyecto de entibación Tribunales de Justicia

El proyecto de estacionamientos subterráneos a un costado de los Tribunales de Justicia de Concepción planteó un gran desafío a la Ingeniería Geotécnica debido no sólo a la gran excavación y posterior construcción sino a lo sensible de su ubicación. El edificio de los Tribunales es un edificio emblemático de la ciudad, tiene una forma de un cuarto de circunferencia y es una estructura de hormigón armado (Figure 5). Además se bordean dos cuadras completas con varios edificios de mediana altura (4 a 6 pisos) y uno de 9 pisos afortunadamente en una esquina.



Figura 5: Vista del muro Berlinés curvo apegado a los Tribunales de Justicia

Mecánica de Suelos

El suelo comprendido en la zona de entibación corresponde mayormente a arenas limosas SM, con fino no plástico con las propiedades geotécnicas detalladas en la Tabla 1. Se asume un ángulo de interfaz suelo-muro δ igual a $\delta/\phi = 2/3$ tanto para el lado pasivo como para el lado activo de empuje.

Tabla 1 : Valores de los parámetros de los suelos alrededor de las entibaciones

Suelo	h m	γ kN/m ³	γ' kN/m ³	G_s
Relleno	0-2	17.5	7.5	2.6
SM	-2-7	17.5	7.5	2.8
SM	-7-16	20.7	10.7	2.8

ϕ'_{cr}	DR %	ϕ'_{max}	c kPa	$(N_1)_{60}$
30	45	30	-	15
33	60	34	0	18
34	82	37	0	36

Valores promediados y estimados de los datos de la Mecánica de Suelos

Uno de los problemas con los que deben lidiar los Ingenieros Geotécnicos es con la calidad o confiabilidad de los valores de los parámetros geotécnicos obtenidos en terreno y en laboratorio. La obtención de los parámetros de resistencia al corte se basan principalmente en ensayos SPT, los cuales, incluso independiente de las falencias en equipos y operarios, se ven afectados por la metodología intrínseca del ensayo que consiste en golpear o impactar al suelo el número de veces que sea necesario para penetrar un muestreador llamado cuchara normal. Obviamente este ensayo altera y perturba considerablemente el suelo ensayado. Esto se suma al hecho que el ángulo de fricción ϕ' es correlacionado o sea determinado indirectamente con el número de golpes $(N_1)_{60}$ a partir de expresiones obtenidas para suelos de otras latitudes. Por otro lado, para diseñar entibaciones se necesitan las propiedades geotécnicas de depósitos de suelos más bien superficiales. Sin embargo, los estudios de Mecánica de Suelos se enfocan principalmente al diseño de fundaciones, por lo tanto se concentran en los suelos que están debajo de la excavación o mejor dicho bajo el sello de fundación. Para mejorar la calidad y confianza en los parámetros de entrada en



los cálculos se requiere que desde el inicio del proyecto se incluyan ensayos más adecuados tanto en terreno como en laboratorio que apunten al diseño de entibaciones.

No se sabe aún si el ahorro de dinero producto de no realizar estudios apropiados de Mecánica de Suelos y enfocados al diseño de entibaciones pueda a la larga redundar en diseños sobredimensionados y por lo tanto se termine gastando más dinero que el supuesto dinero ahorrado inicialmente. Por otro lado, se crea el riesgo de subdimensionar la estructura de contención, lo cual puede resultar en colapsos.

Metodología de diseño

En el cálculo de las entibaciones con anclajes se utiliza el método de Kranz (1953) o también llamado método de los bloques. Este método permite determinar el largo del anclaje para luego analizar la estabilidad del sistema muro, anclaje y suelo. El método de Kranz (1953) fue derivado originalmente para muros con un solo anclaje, sin embargo Ranke y Ostermayer (1968) extienden el método para varios anclajes. La Figura 6 muestra que este método analiza el equilibrio de un prisma de suelo trapezoidal en la forma de fuerzas en un diagrama de cuerpo libre y en la forma de un polígono de vectores de fuerzas. La resistencia al deslizamiento del bloque o trapezoide que no es posible de obtener por medio de la resistencia al corte del suelo se suple con la fuerza del o los anclajes.

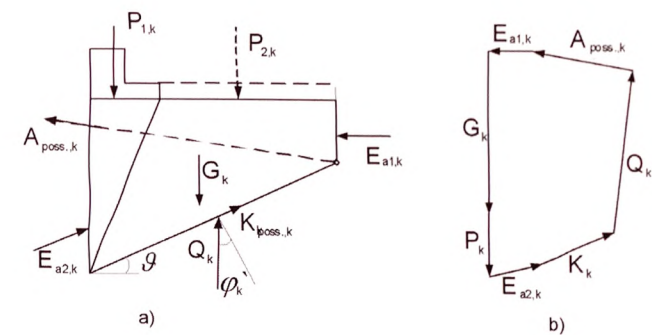


Figura 6: Determinación de la fuerza del anclaje A: (a) fuerzas actuando sobre el bloque de suelo deslizante y (b) polígono de fuerzas

Además de la sobrecarga general de 10 kN/m² (EAB 2008) a nivel de la superficie del terreno para incorporar las calles, se considera para edificaciones una sobrecarga de 12 kN/m² por piso. Para el edificio de los Tribunales se consideró una sobrecarga de 100 kN/m² aplicada en el sello de fundación, a 3 m de profundidad (Lancuyen, 2008).

Las fuerzas aplicadas por un posible sismo se estiman mediante las expresiones recomendadas por Okabe (1926) y Mononobe y Matsuo (1929). Se adoptan los valores de aceleración sísmica horizontal mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2: Aceleraciones horizontales usadas en el diseño de anclajes

Estructura	a_h / g
Edificio tribunales	0.18
Edificios en general	0.15
Calles	0.12

Notar que no se consideran aceleraciones verticales, cuando éstas podrían llegar a ser importantes (Villalobos, 2009). Además, los valores considerados de a_h son mayores a los normalmente usados, esto se debe a la importancia de los edificios involucrados y a su emplazamiento (en medio del centro de la ciudad), además del mayor tiempo de exposición de las estructuras vecinas (6 meses comparado con 1 mes en un proyecto menor). Las aceleraciones sísmicas consideradas se incorporaron en los diseños de todas las etapas de ejecución de anclajes que comprometan estructuras vecinas, es decir, las etapas de excavación y destensado de anclajes.

En los diseños de estabilidad global se debe verificar que en el caso estático el factor de seguridad $FS \geq 1.5$ y en el caso sísmico $FS \geq 1.1$.

Diseño de anclajes postensados inyectados

El diseño de anclajes se realiza a partir de los resultados obtenidos de los análisis de estabilidad desarrollados para el proyecto. Mediante este análisis se obtiene la carga y la longitud libre de los anclajes necesaria para garantizar la estabilidad del sistema de entibación, además de la longitud de bulbo y la cantidad de cables de los anclajes.

Determinación de la longitud libre

La longitud libre del anclaje se determinó de acuerdo a los resultados del análisis de estabilidad. La longitud libre tiene que ser tal que cumpla con los siguientes requerimientos:

- Debe permitir desarrollar el bulbo del anclaje fuera de la zona de falla (Figura 7)
- En caso de existencia de roca, se debe evitar tener una parte del bulbo en roca y otra en suelo
- La longitud libre mínima considerada hasta la cabeza de tensado es igual a 4.5 m para anclajes de cable

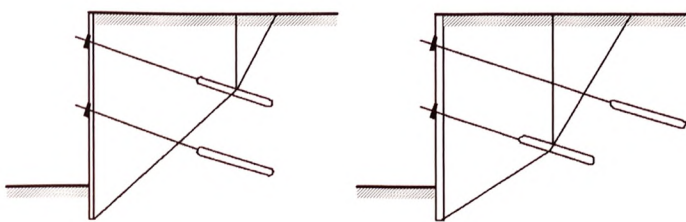


Figura 7: Consideración de anclajes fuera y dentro de la zona de falla

Determinación de la longitud de bulbo

Para calcular la longitud de bulbo de los anclajes se utilizan métodos de cálculo basados en análisis de equilibrio límite (EAB 2008). Estos métodos de cálculo utilizan parámetros constructivos definidos a partir del método de perforación y tipo de inyección, los cuales dependen de la experiencia de cada empresa de perforación y son difíciles de estimar en forma teórica. Además, se deben considerar diferentes tipos de suelo y factores de seguridad.

La longitud de bulbo se determina a partir del método desarrollado por Bustamante (1986), que correlaciona los valores “N” del ensayo SPT con la capacidad por fricción del suelo analizado. Este método es usado ampliamente por la mayoría de las empresas de perforaciones de Chile y de Europa. La longitud de bulbo depende de los siguientes parámetros:

- Diámetro de perforación
- Tipo de lechada
- Método de inyección de lechada

Siendo todas estas variables definidas por la empresa especializada en la construcción de anclajes. Se utiliza la siguiente fórmula para calcular tracción límite del anclaje T_u ,

$$T_u = \pi D_s L_s q_s \quad (1)$$

donde D_s es el diámetro medio del bulbo, L_s es la longitud del bulbo y q_s es la fricción lateral unitaria límite que se ejerce a lo largo de la superficie lateral del bulbo.

Para determinar las cargas admisibles, se utiliza un factor de seguridad igual a 1.8. Para estimar el parámetro q_s se analizaron los valores del SPT característicos de los estratos donde se ubicarán los bulbos. Para determinar el diámetro medio del bulbo D_s se utiliza la siguiente expresión:

$$D_s = \alpha D_d \quad (2)$$

donde D_d es el diámetro de perforación y α es el coeficiente de inyección. El coeficiente de inyección depende del tipo de inyección, siendo IGU una Inyección Global y Única y IRS una Inyección Repetitiva y Selectiva. Se utiliza el valor $\alpha = 1.2$ para inyección tipo IGU.

El número de cables se determina utilizando la fórmula de carga admisible del anclaje T_{adm} ,

$$T_{adm} = n A_c f_y / FS \quad (3)$$

donde n es el número de cables, A_c es el área de cada cable, f_y es la tensión de fluencia del cable y $FS = 1.5$ es el factor de seguridad. La Tabla 3 entrega las características técnicas de los cables de los anclajes postensados utilizados en el proyecto.

Tabla 3: Propiedades de los cables de los anclajes (ASTM 416, GRADO 270)

Parámetro	Valor
Diámetro del cable D , mm	15.2
Área del cable A_c , mm ²	140
Tensión de fluencia f_y , kg/cm ²	15700
Carga última característica T , kN	250
Carga de fluencia característica T_y , kN	235

La Tabla 4 permite determinar la cantidad de cables en función de la carga admisible de los anclajes.

Tabla 4: Carga admisible en función del número de cables (Lancuyen, 2008)

Nº de cables	Carga admisible kN
2	314
3	471
4	628
5	785
6	942

Vigas de amarre

En un muro Berlínés se estudia y se recomienda la utilización de una viga de amarre metálica que transfiera la carga de los anclajes directamente a los perfiles de la estructura de contención, este sistema de transferencia de carga es de uso habitual para este tipo de estructuras. Esta viga de amarre se compone de dos perfiles C unidos mediante piezas soldadas que dejan espacio para el paso de los cables del anclaje; la viga se posiciona con el mismo ángulo de inclinación que el anclaje (ver Figuras 8 y 13).



Figura 8: Detalle vigas de amarre a diferentes niveles

Resultados de los análisis

Las Figuras 9, 10 y 11 muestran la geometría del problema de excavación entibada junto a las distribuciones de empujes laterales tanto activos como pasivos, momentos flectores, fuerzas de corte, fuerzas axiales y la deformada del muro. Además, las Figuras 9, 10 y 11 deben ser vistas como una secuencia constructiva, donde la Figura 9 representa la excavación sin anclajes, la Figura 10 con un anclaje y la Figura 11 con los dos anclajes finales.

Las salidas mostradas en las Figuras 9, 10 y 11 han sido obtenidas usando el programa computacional GGU-RETAIN (2008). El uso de programas computacionales facilita enormemente el cálculo, debido a que de otra forma resultaría engorroso considerar tantas variables y etapas de cálculo.

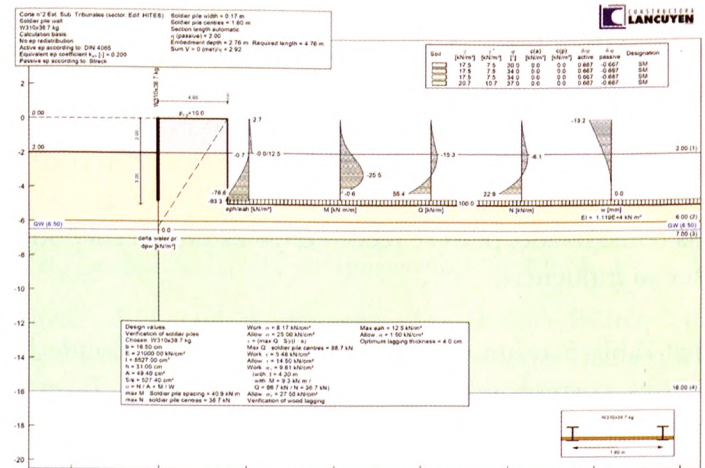


Figura 9: Ejemplo de análisis de estabilidad de excavación sin anclajes junto a edificio Hites

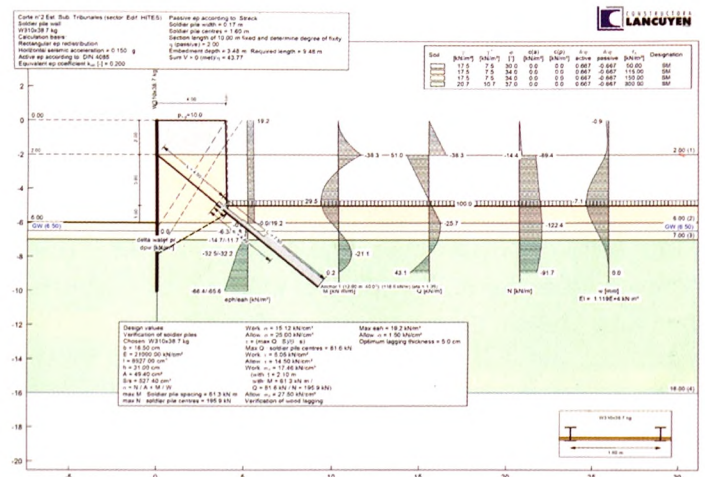


Figura 10: Ejemplo de análisis de estabilidad con primer anclaje junto a edificio Hites

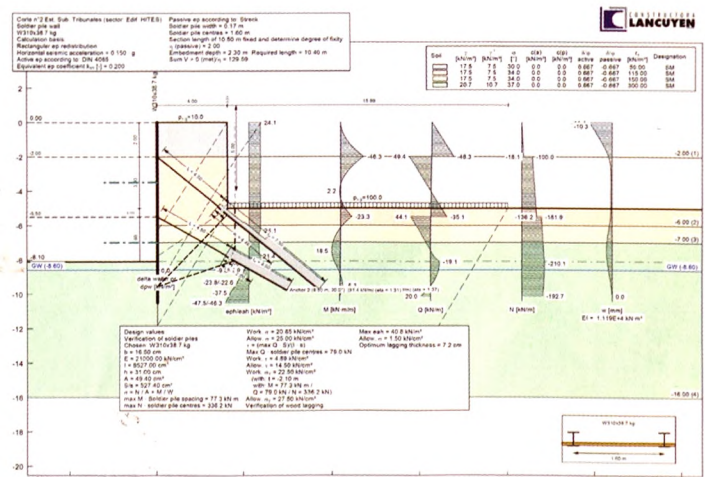


Figura 11: Ejemplo análisis de estabilidad con segundo anclaje junto a edificio Hites

Notar que en los resultados mostrados en las Figuras 9 y 10 el nivel freático aparece inicialmente a - 6.5 m a ambos lados de la estructura de contención. Sin embargo, después baja a -8.6 m en la excavación (Figura 11). Esta disminución del nivel freático no considera el posible efecto de presiones hidrodinámicas detrás de la entibación. Por simplificación este posible efecto no se ha considerado, pero se recomienda estudiar cual podría ser su influencia.

La Tabla 5 resume los diseños de anclajes, donde los cortes corresponden a los tramos anclados, T_o es la resistencia del anclaje obtenida del programa GGU-Retain y multiplicada por un factor de seguridad $FS = 2$, L es la longitud total del anclaje, β es la inclinación del anclaje respecto a la horizontal y D_f es la profundidad del sello de fundación del edificio adyacente al muro anclado. La longitud libre de anclaje adoptada fue de 4.5 m para todos los anclajes. La Figura 12 muestra la geometría en planta del estacionamiento y también se puede ver la distribución de anclajes. Notar la mayor densidad de anclajes bajo ciertos sectores en los Tribunales y en otros edificios. Existen zonas bajo los Tribunales donde los anclajes se intercalan pasando unos sobre otros. La instalación de estos anclajes debe cuidar de no solo esquivar las fundaciones de los Tribunales sino que además no tocar otro anclaje.

Tabla 5: Diseños de anclajes (Lancuyen 2008)

Corte	T_o kN	L m	L_s m	β °	Edificios	D_f m
1	350 280	12.5 8.5	8 4	30 25	Fiscalía militar, pp. y Tucapel	0
2	410 300	12 8.5	7.5 4	40 30	Hites	5
3	370 480	12.5 11	8 6.5	30 25	Entradas INP	1.5
4	450 325	11.5 9	7 4.5	45 35	INP	5
5	350 330	12.5 9	8 4.5	30 25	Tribunales	3
6	330 520	13 12.5	8.5 8	30 25	Tribunales	3
7	400 300	12.5 8.5	8 4	35 25	Tribunales	5.5
8	370 480	12.5 11	8 8.5	30 25	Barros Arana	1.5

La Figura 13 muestra una vista del muro Berlínés con las dos filas de anclaje y las vigas de amarre. También se ven las punteras a los pies de los muros Berlínés y los edificios circundantes.

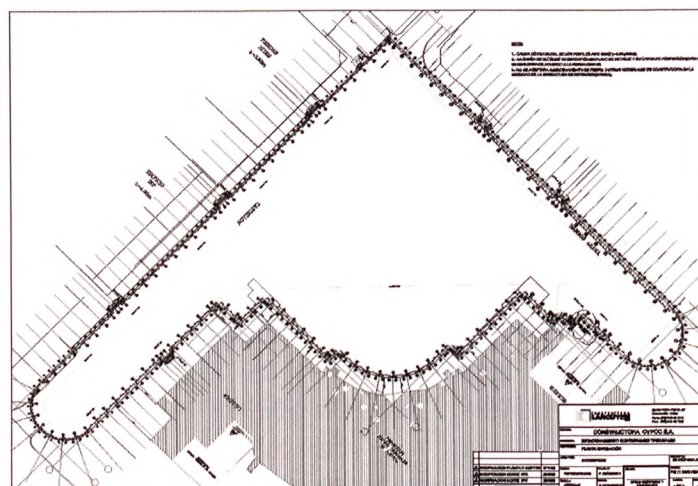


Figura 12: Vista en planta de los anclajes mostrando los cortes y los detalles (Lancuyen 2008)



Figura 13: Vista parcial de la excavación del proyecto de estacionamientos subterráneos

Comentarios finales

El proyecto contempló 3596 m² de muro Berlínés anclado con 314 anclajes postensados totalizando 3784 ml con cargas de 300 kN a 520 kN y 300 perfiles H totalizando 3200 ml. Una vez que las losas y los muros definitivos son construidos y pueden resistir los empujes laterales se destensan los anclajes y el muro Berlínés queda enterrado con perfiles y tablonés, excepto las vigas de amarre que pueden ser recuperadas. Tanto las losas como los muros de hormigón definitivos quedan en contacto con los perfiles H de la entibación, asegurándose la transmisión de cargas de la entibación a la nueva estructura. Sin embargo, es posible plantear la pregunta sobre la integridad de los tablonés y los perfiles H en el tiempo. De producirse descomposición por ejemplo de los tablonés, existiría el riesgo de posibles desplazamientos horizontales que pudieran inducir asentamientos posteriores. Se recomienda por tanto estudiar y monitorear posibles



desplazamientos del suelo detrás de los tabloneros y posibles asentamientos de estructuras vecinas.

Referencias

Blum, H. (1931). *Einspannungsverhältnisse bei Bohlwerken*. Berlin: W. Ernst & Sohn

Bustamante, M. (1986). Un método para el cálculo de los anclajes y de los micropilotes inyectados. *Boletín de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones*, nº 81-82

EAB (2008). *Recommendations on Excavations*. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., 2nd edition. Ernst & Sohn

GGU-RETAIN (2008). *Analysis and design of sheet pile walls, soldier pile walls and in-situ concrete walls* to EAB. GGU Zentrale Verwaltung mbH, Braunschweig

Kranz, E. (1953). *Über die Verankerung von Spundwänden*. Berlin: Ernst & Sohn

Lancuyen (2008). *Proyecto estacionamientos subterráneos plaza Tribunales*. Entibación anclada. Informe interno, Concepción

Mononobe, N. and Matsuo, H. (1929). On the determination of earth pressures during earthquakes. *Proceedings, World Engineering Congress*

Okabe, S. (1926). General theory of earth pressures. *Journal of the Japanese Society of Civil Engineering*, Vol. 12, No 1

Ranke, A.H und Ostermayer, H. (1968). Beitrag zur Stabilitätsuntersuchung mehrfach verankerter Baugruben umschliessungen. *Die Bautechnik* 45, No10, 341

Sowers, G.F. (1979). *Introductory Soil Mechanics and Foundations: Geotechnical Engineering*. Fourth edition, MacMillan, New York

Villalobos, F.A. (2009). *Dinámica de Suelos*. Departamento de Ingeniería Civil, UCSC

CONSTRUCTORA

CYB Ltda.

La Empresa

Constructora Castillo y Bono Ltda. fue constituida en Concepción en junio de 1999. Los socios fundadores y el equipo humano que componen Constructora Castillo y Bono Ltda. acumulan una amplia experiencia en la realización de todo tipo de obras, con las más avanzadas tecnologías constructivas. Esta destacada capacidad profesional de sus técnicos y directivos, junto con la armoniosa cooperación mutua, tanto interna como externa, fruto de una filosofía de aprecio a las personas, establecida como meta y base de funcionamiento de la Empresa, esto se traduce en el singular sentido de la calidad y del servicio hacia los clientes que ya se ha constatado, y que ha dado lugar al merecido prestigio del que disfruta Constructora Castillo y Bono Ltda.

Arce 185 Sta. Leonor Talcahuano Fonos: (41) 2957383 Fax (41) 2283467

E - mail: ecastillo@constructoracyb.cl - jdcastillo@constructoracyb.cl

www.constructoracyb.cl - info@constructoracyb.cl