



ANTONIO BLANCO BLASCO
INGENIEROS E.I.R.L.

SISTEMAS DE ESTABILIZACIÓN DEL TERRENO PARA EL CASO DE EXCAVACIONES DE EDIFICIOS CON SÓTANOS: CASO ESPECIAL DE MUROS ANCLADOS

RESUMEN de la conferencia dictada por el Ing. Antonio Blanco Blasco a solicitud de la Asociación de Productores de Cementos – ASOCEM.*

I. Introducción

Un problema importante en la construcción de edificaciones con sótanos es realizar excavaciones verticales en terrenos que tienen linderos colindantes con edificaciones existentes o con la calle. En Lima se han construido edificios de hasta 5 sótanos empleando el sistema de calzaduras para sostener lateral y temporalmente el empuje del suelo.

La calzadura se emplea como un sistema de muros de contención de gravedad y también como una sub zapata que puede soportar una cimentación existente y transmitir los esfuerzos a un estrato de terreno más profundo.

La mayoría de los distritos de Lima cuentan con un suelo constituido por gravas con matriz de arenas, que tiene muy buena capacidad portante y en el que se realiza excavaciones profundas sin mayores problemas, lo que permite el uso del sistema de calzaduras.

Recordemos que el empuje de un suelo es mayor si el ángulo de fricción interna es menor y si el suelo no tiene cohesión. El suelo gravoso de Lima es granular y no debería tener cohesión. Sin embargo, tiene una cohesión aparente, que es la que facilita la construcción de las calzaduras. Si hay presencia de agua, esta cohesión se pierde.

En terrenos de baja capacidad portante, por lo general, suelos sueltos, no es fácil hacer una excavación y construir calzaduras. La razón fundamental es que la calzadura trabaja como un muro de contención, generalmente en voladizo, y los empujes laterales son mayores en suelos sueltos.

A pesar de tener una calzadura bien diseñada y bien construida, siempre es posible que se produzcan ligeras fisuras en las edificaciones vecinas. En los muros de contención en voladizo, para que trabajen como tal, se presenta una grieta superficial en el terreno ubicado hacia el interior del muro, que es el plano de falla del terreno (cuña de falla que genera el empuje activo).

**Este resumen ha sido realizado por la Ing. Maritza Ramos Rugel y revisado por el Ing. Antonio Blanco Blasco.*



ANTONIO BLANCO BLASCO INGENIEROS E.I.R.L.

Hay que tener en cuenta que cuando se diseña una calzada, se trabaja con coeficientes de seguridad al volteo y al deslizamiento menores a los usados en los muros de contención, pensando en que se trata de una obra provisional.

Si se trata de uno o dos sótanos, el empuje actuante es mínimo o nulo, debido a que la cohesión aparente del suelo gravoso de Lima supera al empuje teórico. Cuando las profundidades son mayores, el tema se complica. Es usual que los problemas con las edificaciones vecinas sean causados por las deformaciones laterales de la calzada o por los asentamientos diferenciales.

Varios edificios construidos en los últimos treinta años –como el actual local de La Sunat en la Av. Benavides, la obra del Hotel Marriot o el local del Banco de la Nación en la esquina de Av. Arequipa con Javier Prado– tienen 5 sótanos y han sido hechos con calzaduras cuyos espesores en la base son del orden de 3.6 a 4m, con los que se ha conseguido un buen comportamiento.

En los últimos años, en los que la confianza hacia las nuevas construcciones ha disminuido, debido a los accidentes ocurridos en algunas obras, el utilizar calzaduras en la construcción de muros de sótanos ha ocasionado problemas con terceros ya que se invade la propiedad vecina.

En el Perú, desde el inicio de los años 90, se utiliza muros de concreto armado que, al principio, sirven como elementos de contención en la etapa de la excavación, soportando los empujes del suelo mediante tensores y/o anclajes postensados. Este elemento de contención es el muro perimétrico del proyecto, lo que no genera un costo adicional. Este tipo de muros son llamados “muros excavados con anclajes o muros pantalla”.

II. Aspectos generales de los muros con anclajes

Los muros anclados son estructuras de carácter provisional que sirven para proteger a los edificios vecinos, frente a los empujes laterales de tierra que se producen cuando hay excavaciones. Posteriormente a la fase de excavación, se construye el edificio, con sus losas de techos, columnas y placas, momento en el que ya no se requiere de los anclajes colocados inicialmente, pues ahora la estructura del edificio es la que soporta los empujes.

El procedimiento constructivo de los muros excavados con anclajes consiste en realizar excavaciones parciales y construir paños independientes para luego proceder a tensar el paño. La construcción de los muros se realiza conforme progresa la excavación. Los anclajes presionan al muro contra el suelo lo que permite confinarlos evitando que éste se mueva.



ANTONIO BLANCO BLASCO INGENIEROS E.I.R.L.

Al terminar de construir una primera fila de muro, se pasa a repetir el proceso en una segunda fila. Los paños son normalmente de 3m de altura por 4.5m o 5.0m de largo con refuerzos verticales y horizontales que sobresalen hacia abajo y hacia los costados, aproximadamente 50cm. Esto se hace con la finalidad de hacer el empalme con el futuro paño adyacente y luego con el paño de la fila inferior.



Fig. 1: Foto donde se indica la colocación de refuerzo para futuros empalmes. Fuente ABB Ingenieros EIRL.

Cuando hay una edificación al costado con cimentaciones superficiales lo recomendable es hacer la primera fila del muro con longitudes de paños de hasta 2.5m. Esto se recomienda ya que la cimentación del edificio existente no se está calzando y puede desestabilizarse si se quita 5m de terreno.

Los anclajes pueden ser temporales o permanentes. Los anclajes temporales trabajan hasta que son sustituidos por estructuras permanentes, en el caso de una excavación de varios sótanos, el sostenimiento temporal se realiza con anclajes, hasta que son sustituidos por las losas de entrepiso.

Los anclajes permanentes trabajan durante toda la vida útil del proyecto, por lo que se dimensionará con mayores coeficientes de seguridad y los niveles de protección serán mayores.



ANTONIO BLANCO BLASCO INGENIEROS E.I.R.L.

III. Aspectos generales de los anclajes

Existen muchos tipos de anclajes, lo que usualmente se utiliza son cables de acero de alta resistencia y baja relajación. Los anclajes son fijados al suelo por mortero en la zona del bulbo, el anclaje aporta la fuerza estabilizadora y la trasmite al suelo.

3.1 Partes principales de un anclaje:

El **bulbo** es la parte correspondiente a la longitud adherida al terreno. Es la zona donde la fuerza de tracción se transfiere al terreno.

Zona libre es la zona entre el punto de fijación y el bulbo, donde el cable puede alargarse ante el tensando.

Cabeza es la parte externa del anclaje. El cable se tensa a la presión establecida (fuerza del anclaje) usando una plancha de acero apoyada en el muro de concreto.

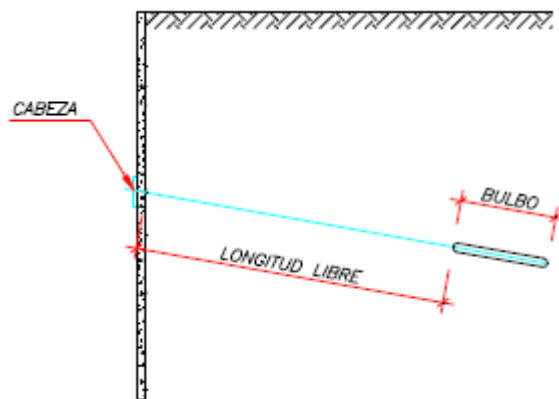


Fig. 2: Partes de un anclaje: Bulbo, zona libre, longitud libre.

IV. Consideraciones básicas para el diseño de un anclaje

Para que los anclajes no transfieran las tensiones de la zona del bulbo al muro de concreto, estos deben separarse una distancia mínima. Debido a que el anclaje aporta la fuerza estabilizadora y la trasmite al suelo se requiere que la fuerza se transmita mas allá de la zona activa.



ANTONIO BLANCO BLASCO INGENIEROS E.I.R.L.

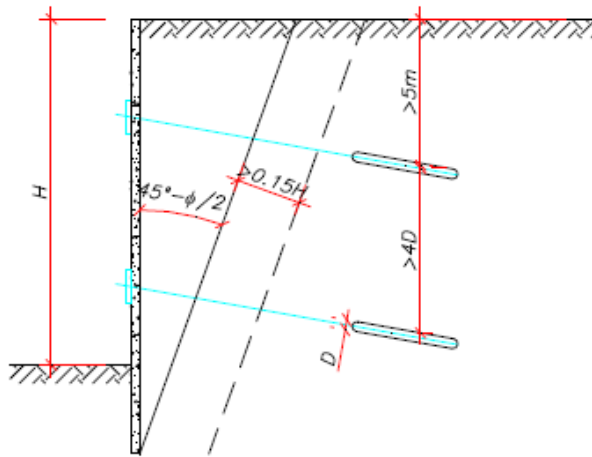


Fig. 3: Ubicación de anclajes.

Los cálculos para determinar la fuerza de anclaje son realizados por las empresas que se encargan de hacer los anclajes y de garantizar la estabilidad del muro. Estas empresas emiten un informe con las fuerzas de los anclajes, la longitud de los mismos y ubicación en planta y altura.

Cuando no se tiene un solo anclaje, sino varios, debido a excavaciones profundas de 4, 5, 6, 7 u 8 sótanos, se hacen cálculos aproximados considerando teorías parecidas a las usadas en muros entibados, calculando reacciones de las acciones del terreno. Estas reacciones son las fuerzas que deben tener los anclajes.

V. Diseño del muro como elemento de concreto armado

La construcción del muro se realiza por paños. El proceso de construcción implica que los paños de concreto actúen de diferentes formas desde el estado inicial hasta el estado final de servicio.

Se pueden definir tres etapas de diseño: la inicial, la intermedia y la final.

a. Etapa inicial: Cuando se aplica la fuerza de anclaje al paño

En la etapa inicial, el paño está sometido a una fuerza que lo obliga a funcionar como una "zapata flexible". Se dice que es un elemento flexible ya que los espesores de los muros son del orden de 30 a 50 cm.

Al ser el muro un elemento flexible, las presiones del terreno se concentran en la zona del anclaje. La presión de respuesta de suelo no tiene una distribución uniforme como se supone en el caso de zapatas rígidas.



ANTONIO BLANCO BLASCO INGENIEROS E.I.R.L.

Para estimar la forma de esta reacción del suelo, sobre el muro, se debe escoger un módulo de balasto del suelo. Generalmente se utiliza un programa de cómputo considerando una losa apoyada en resortes, sometida a la carga del anclaje distribuida en un área igual a la plancha del mismo.

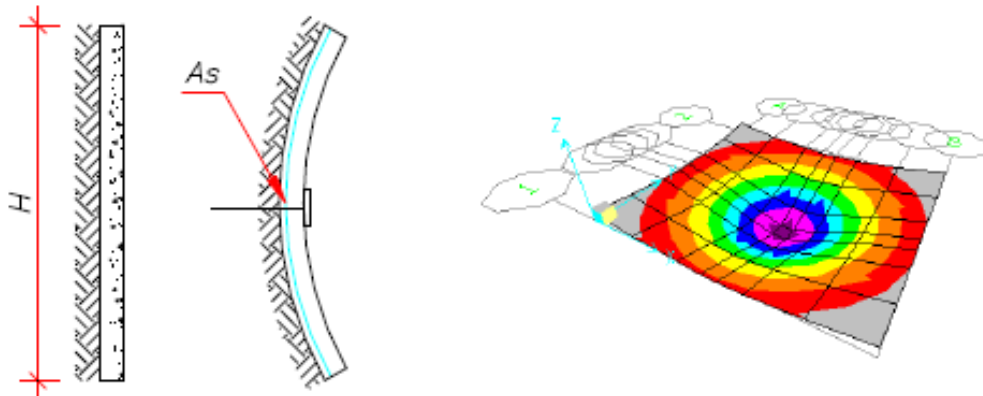


Fig. 4: Modelo de un muro anclado: de izquierda a derecha se ve un paño sin tensar, un paño tensado y el modelo en programa Safe.

En esta etapa se hace el cálculo del refuerzo de la cara del muro adyacente al terreno. Una vez obtenida la presión variable actuando sobre el muro, el volado se diseña por flexión.

En esta etapa debe verificarse el punzonamiento que la plancha ejerce sobre el muro de concreto, generalmente las planchas tienen 30cm x 30cm. Para obtener la sección crítica por punzonamiento, se considera una sección ubicada a "d/2" de las caras de la plancha. Cuando los espesores de muro no pasan por punzonamiento, se recomienda incrementar la resistencia mínima del concreto al momento del tensado, las dimensiones de las planchas y/o el espesor del muro.

La verificación por punzonamiento puede gobernar la determinación del espesor del muro, dependiendo de la magnitud de las fuerzas de los anclajes. La idea es no necesitar refuerzo de acero por cortante, sino solamente por flexión.

Los espesores recomendados para los muros anclados, construidos en un buen suelo, como el de Lima, y para alturas normales de piso a piso son:

N° de sótanos	Espesor de muro (cm)
2 ó 3	30
4	40
5 ó 6	45
7 u 8	50 ó 55



ANTONIO BLANCO BLASCO
INGENIEROS E.I.R.L.

b. Etapa intermedia: cuando se aplica la fuerza de anclaje al paño adyacente

Luego de tensar el muro, se procede a tensar un paño cercano y luego el intermedio entre dos ya tensados.

El muro trabajará como una losa sin vigas. Durante la ejecución de la primera fila, se podrá considerar una losa sin vigas en una dirección, con una franja de columna más esforzada. Cuando se ejecute una segunda fila, trabajará como losa sin vigas, armada en dos direcciones, con franjas de columnas más reforzadas.

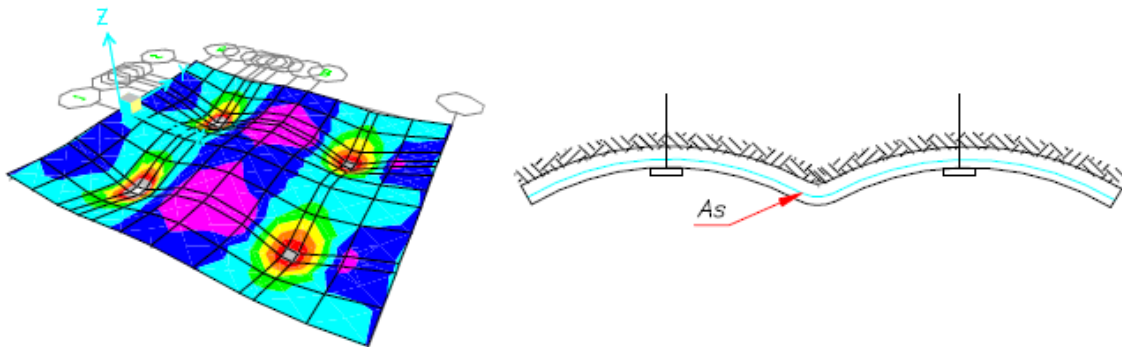


Fig. 5: Modelo de una losa de 4 paños de muro anclados.

No es fácil en obra tener distintos aceros en zonas de franjas de columnas o zonas de franjas centrales, por lo que normalmente se uniformiza el diseño. Se debe recordar que la carga actuante se concentra en las zonas de los anclajes.

Para el cálculo de paños adyacentes, se encuentra el acero necesario en la cara exterior del muro (ver figura 5).

c. Etapa final: cuando se construyen las losas de techos y liberan los anclajes

El diseño del muro, luego de la colocación de los anclajes, se realiza considerando un muro con apoyos laterales (constituidos por los techos de los sótanos del edificio). Esta característica hace que no exista el problema del volteo y que ya no se tenga como fuerza actuante al empuje activo, sino el llamado empuje de los suelos en reposo k_0 . Por tanto, se asume que el diagrama de empuje del suelo toma una forma rectangular.

Debido a esta etapa, es probable que el diseño del refuerzo necesite un incremento en algunos bastones negativos y positivos.



ANTONIO BLANCO BLASCO INGENIEROS E.I.R.L.

Una forma de diseñar es disponer una malla de refuerzo para la cara en contacto con la tierra. Este refuerzo debe cumplir con el cálculo para la etapa inicial. El diseño del refuerzo vertical de la cara hacia el edificio se debe obtener verificando la etapa intermedia y la final.

Debido al empuje de la etapa final, por lo general, al refuerzo vertical, se le debe colocar bastones para controlar los momentos en los apoyos (losas) y para controlar los momentos que hay entre losa y losa.

El refuerzo horizontal de la cara hacia el edificio se obtiene de la etapa intermedia o usando el acero mínimo de muros.

Adicional a los refuerzos corridos y a los bastones obtenidos con el cálculo de la etapa final, también es usual colocar una malla de aproximadamente 2m de lado, como refuerzo en la zona de anclajes. Esto permite reducir el acero de la malla de la cara en contacto con la tierra, calculado según la primera etapa.

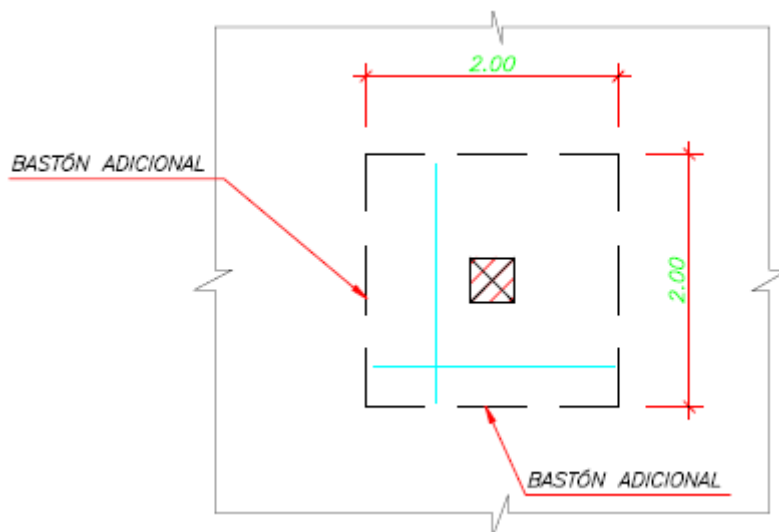


Fig. 6: Detalle típico del refuerzo adicional en la cara del muro en contacto con la tierra.

Mayo 2010.