



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA CONTENCIÓN DE UNA
EXCAVACIÓN UBICADA EN LA ALCALDÍA MIGUEL HIDALGO**

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

P R E S E N T A :

ING. LUIS RICARDO SAUCEDO FERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESINA: M.I. WALTER IVÁN PANIAGUA ZAVALA

MÉXICO, D.F. JUNIO 2020

Agradecimientos:

A mis padres por todo el apoyo brindado, a mis hermanos por siempre estar conmigo y a Yeraldyn, mi soporte.

De igual manera quiero agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la ayuda económica brindada y al M. I. Walter I. Paniagua Zavala por haberme facilitado el acceso a la obra de excavación, sujeto de esta tesina.

Título: Procedimiento constructivo para contención de una excavación ubicada en la alcaldía Miguel Hidalgo

Índice

1. Introducción	2
1.1 Objetivos	2
1.2 Delimitación y planteamiento del problema de investigación	2
1.3 Justificación del tema.....	2
1.4 Alcances	3
2. Marco teórico conceptual.....	5
2.1 Anclas.....	5
2.1.1 Generalidades de las anclas.....	5
2.1.2 Usos de las anclas	8
2.1.3 Tipos de anclaje.....	8
2.1.4 Tipos de inyección.....	9
2.2 Muro de Concreto lanzado	10
2.2.1 Tipos de lanzado	11
2.2.2 Ventajas del concreto lanzado.....	12
2.2.3 Usos del concreto lanzado	13
3. Características del proyecto.....	14
3.1 Ubicación y generalidades	14
3.2 Modelo geotécnico	16
3.3 Elementos estructurales utilizados	18
3.3.1 Anclas	18
3.3.2 Muro de concreto lanzado.....	20
4. Procedimiento constructivo.....	21
5. Conclusiones	32
Bibliografía	33

1. Introducción

1.1 Objetivos

1. Describir los principales procedimientos constructivos empleados para sistemas de anclaje activo.
2. Describir los principales procedimientos constructivo para sistemas de concreto lanzado vía húmeda y vía seca
3. Estudiar un caso de la contención de una excavación profunda ubicada en la alcaldía Miguel Hidalgo, mediante anclas y muros de concreto lanzado. Se describen las características geotécnicas del sitio y la geometría de la excavación.
4. Se comentan las principales ventajas y desventajas de estos procedimientos constructivos

1.2 Delimitación y planteamiento del problema de investigación

Se construye una cimentación en la alcaldía Miguel Hidalgo. La profundidad de la excavación a contener es de 13 metros. La construcción del proyecto comenzó en el año 2019 y se estima que concluya en el 2020.

Para la contención de la excavación se utilizará anclas temporales¹ y muros de concreto lanzado² que, posteriormente, serán sustituidas por un muro de contención. El presente escrito no cubrirá los procesos constructivos del muro de contención, sino solamente el de las anclas y del muro de concreto lanzado. Se mencionarán procesos que tienen que ver con la excavación, mas no se profundizará en el tema.

1.3 Justificación del tema

La importancia de las anclas temporales y el muro de concreto lanzado radica en que se usan para contener la masa de suelo mientras se llega al nivel total de la excavación, donde después se construirá el muro de contención permanente. Las anclas y el muro de concreto lanzado, a pesar de su etiqueta de temporales, son de suma importancia y deben ser tratados con la misma dedicación que los elementos permanentes.

¹ Anclas cuya función es solamente contener la excavación. En el capítulo 2 se definirán a detalle.

² Elemento de retención construido con la técnica de concreto lanzado. Igualmente se definirá a detalle en el capítulo 2.

Cuando se estudia la carrera de ingeniería civil, en concreto en los últimos semestres, al incursionar en la elección de un área de estudio como lo es la geotecnia, es muy común que las materias a cursar se centren en el diseño de elementos estructurales, de los cuales, no se tiene una noción exacta de cómo se construyen, por lo que muchas veces se procede a diseñar elementos que en realidad resultan imposibles de traer a la realidad. En esta tesina se relata cómo se construyen algunos de esos elementos, de manera que se identifiquen las limitaciones que se tienen en la obra.

Si bien se demostrará que el procedimiento constructivo y el diseño geotécnico están estrechamente relacionados, también se podría ver este escrito como la descripción del siguiente eslabón de una cadena, es decir, ya sabemos lo que se va a hacer, ahora: ¿cómo lo vamos a hacer?

1.4 Alcances

Marco teórico: Se divide en dos partes: anclas y muro de concreto lanzado. En la parte de las anclas se describe el funcionamiento de estas, así como sus componentes fundamentales. Se enlistan los principales usos de las anclas en México y se hace mención a los tipos de anclaje según su vida útil y según su funcionamiento. También se especifican las características de los diferentes tipos de inyección de lechada.

En la segunda parte, se encuentra la definición de concreto lanzado y se mencionan los tipos de refuerzo a la flexión que puede tener. Se detallan los tipos de lanzado y se describen los aditivos más comúnmente utilizados. Al final, se enlistan las ventajas de la utilización del concreto lanzado y sus principales aplicaciones.

Características del proyecto: Se especifica la posición del proyecto y se conoce en qué zona geotécnica se localiza. Se cuenta con un croquis de ubicación, en el cual se observan las colindancias del terreno. Más adelante, se presenta el modelo geotécnico del proyecto, el cual se obtuvo a partir de correlaciones del sondeo de penetración estándar y con información bibliográfica del sitio. Después, se muestra el detalle de los elementos estructurales utilizados, es decir, la cantidad y la ubicación de las anclas colocadas en la excavación, así como las características del concreto y el armado del muro.

Procedimiento Constructivo: Explicación de los trabajos que se desempeñan para la colocación de las anclas y el concreto lanzado. Estos trabajos son agrupados en procesos (perforación, armado, inyección, tensión de anclas, lanzamiento de concreto, etc.) con el fin de que se pueda tener una secuencia, la cual se detalla al final del capítulo. En la descripción de los trabajos se utilizan fotos reales del proyecto para que resulten más fáciles de comprender.

Al final del documento se presentan las conclusiones obtenidas con la elaboración de la tesina, así como toda la bibliografía consultada.

2. Marco teórico conceptual

2.1 Anclas

2.1.1 Generalidades de las anclas

Ovando y Holguín (2002) definen las anclas como elementos estructurales que se utilizan para mantener o reestablecer la estabilidad de una masa de suelo, aplicando fuerzas dentro de ésta. En la Ciudad de México suelen emplearse en zona de lomas, algunas veces en zona de transición y casi nunca en zona de lago. Se pueden utilizar solas o en conjunto con otras estructuras, tal como lo es el muro de concreto lanzado, utilizado en este proyecto.

El factor de seguridad contra la falla rotacional en un talud (figura 2.1) puede calcularse de la siguiente manera:

$$FS = \frac{\Sigma \text{Momentos resistentes}}{\Sigma \text{Momentos actuantes}} \quad \text{ec. 1}$$

Como ya se mencionó, el anclaje constituye una fuerza externa en la masa de suelo, por lo que añadiendo este efecto a la ecuación 1, se obtiene lo siguiente:

$$FS = \frac{\Sigma \text{Momentos resistentes} + Td}{\Sigma \text{Momentos actuantes}} \quad \text{ec. 2}$$

$$FS = \frac{\Sigma \text{Momentos resistentes}}{\Sigma \text{Momentos actuantes} - Td} \quad \text{ec. 3}$$

Donde:

- T: resultante de fuerzas de anclaje
- d: brazo de palanca
- z_i: profundidad de la grieta de tensión

Según Hoek y Brown (1985), para elegir donde aplicar las fuerzas de anclaje en la ecuación 1, se debe conocer el funcionamiento de estas. Las anclas pasivas funcionan como fuerzas resistentes, por lo que se utilizaría la ecuación 2. Mientras que las anclas activas se desempeñan como fuerzas actuantes, por lo que se debería utilizar la ecuación 3.

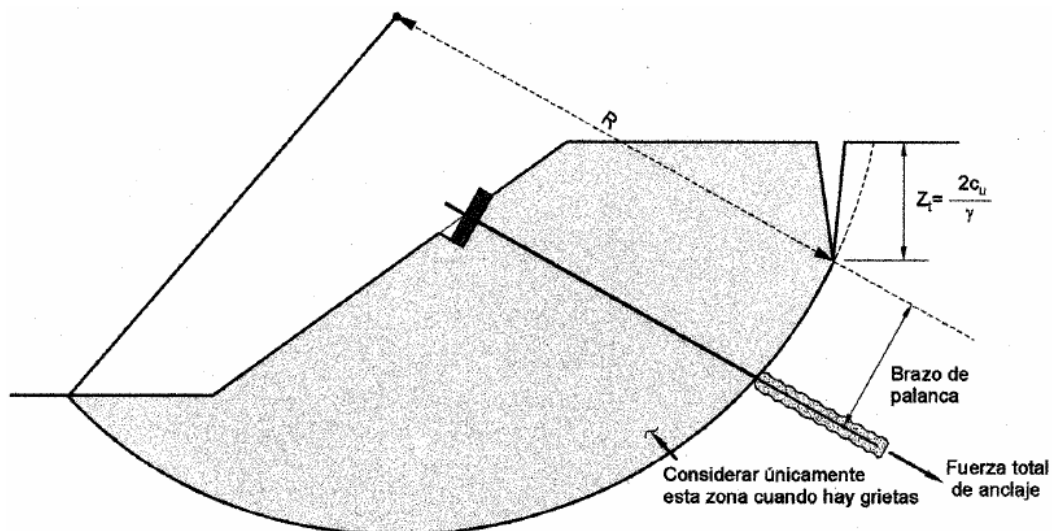


Figura 2.1 Mecanismo de falla circular con fuerza de anclaje externa (Ovando y Holguín, 2002)

Uno de las principales características de los suelos es que cuentan con una resistencia baja a la tensión, por lo que la finalidad de las anclas es proveer de una resistencia adicional en estos materiales (Schmitter, 2002). Las anclas se pueden utilizar tanto en suelo como en roca, sin embargo, no es muy recomendable utilizarlas en arcillas, puesto que las fuerzas que pueden soportar las anclas dependen directamente de la resistencia al corte del suelo.

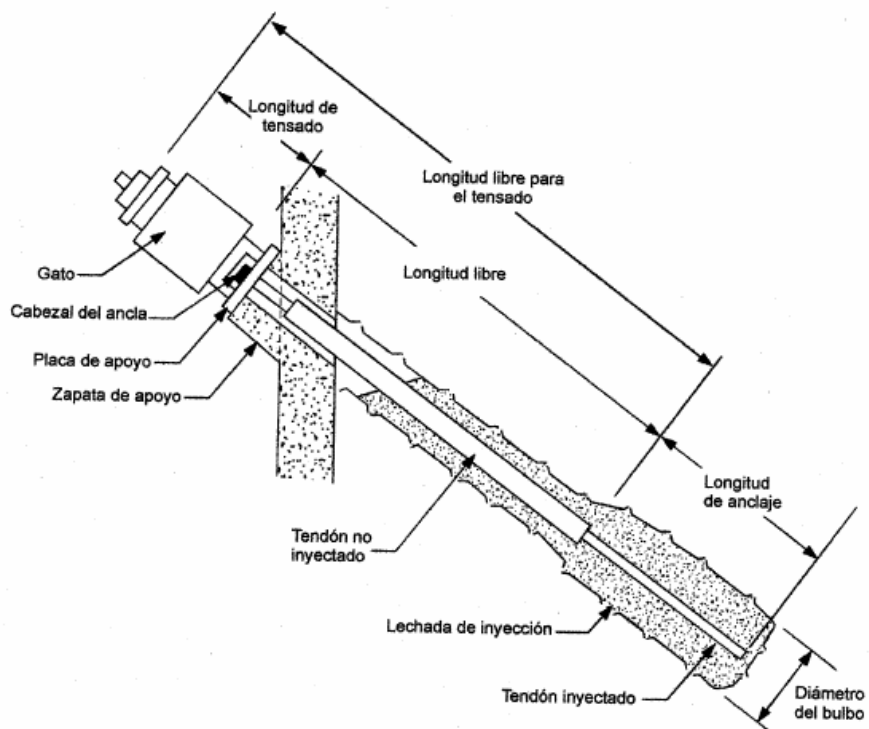


Figura 2.2: Diagrama de los componentes de un ancla (Ovando y Holguín, 2002)

En la Figura 2.2 se observa el diagrama representativo de un ancla con sus componentes más importantes. En el fondo del ancla se puede observar la longitud de anclaje o activa, que es la que contiene el bulbo de anclaje y la cual sostiene al ancla para evitar su movimiento, transfiriendo las cargas hacia el terreno circundante. En la porción restante del barreno³ se encuentra la longitud libre o pasiva, en la cual no hay transferencia de carga hacia el suelo. Y al final, fuera del barreno, se encuentra la longitud de tensado, que es la parte expuesta del ancla y que, como su nombre lo indica, nos permite añadir la tensión por medio de un gato hidráulico.

Dentro del barreno, la longitud activa y pasiva usualmente se separan con un obturador⁴ que sirve como barrera y permite reinyectar el bulbo, como se verá posteriormente en este capítulo. Sin embargo, no en todas las anclas se utiliza el obturador. En algunos casos se recurre a recubrir el acero que se encontrará en la longitud libre con una funda plástica engrasada, para que en esta parte no se desarrolle fricción, mientras que el acero que se encuentra en la longitud de anclaje se deja sin recubrimiento y se inyecta todo el barreno, utilizando únicamente un tapón en la parte superficial de este.

Como se puede observar en la figura 2.2, entre el acero del ancla y el terreno circundante se encuentra la lechada de inyección, la cual tiene al menos una de las siguientes funciones (AFNOR, 2013):

- Formar el bulbo de anclaje, en el cual transmite las cargas aplicadas del acero al terreno.
- Proteger el acero contra la corrosión.
- Fortalecer el terreno inmediatamente adyacente al bulbo para incrementar la capacidad del ancla.

También se puede observar que justo donde termina la longitud libre se encuentra la zapata de apoyo o de reacción, que sirve para que las fuerzas de tensión que se ejercerán sobre el acero de las anclas sean transmitidas al suelo, de manera que el cabezal del ancla no se inserte en el terreno (figura 2.2). Sobre la zapata de reacción se coloca la placa de apoyo, que sirve para distribuir de mejor manera la carga en la zapata.

³ Barreno: Perforación en el suelo donde se colocará el ancla

⁴ Obturador: pieza plástica se infla para formar un sello e impedir el paso de la lechada.

Cabe aclarar que en un talud (como lo son que se están reteniendo en este proyecto), el bulbo de anclaje debe estar fuera de la superficie de deslizamiento, para que las anclas funcionen como una fuerza adicional que no permita que el mecanismo de falla se lleve a cabo. Si el bulbo de anclaje estuvieran dentro de la superficie, no serviría de nada, puesto que no estaría trabajando.

2.1.2 Usos de las anclas

Ovando y Holguín (2002) mencionan los usos más comunes de las anclas en México, separados en tres grupos: Anclas en suelos, anclas en rocas y anclas en ambientes marinos o fluviales. En este texto solamente se enlistan los usos más comunes de las anclas en suelos, puesto que el proyecto se lleva a cabo en este material.

- Como elementos de retención o soporte lateral en excavaciones profundas.
- Para equilibrar los momentos de volteo en las cimentaciones de estructuras esbeltas como torres de transmisión, tanques, chimeneas o bien en atraques de puentes, cimentaciones de muros de contención, entre otros.
- Como elementos para prevenir expansiones o para compensar subpresiones en losas de fondo o en piso de excavaciones.
- Como elementos soporte en túneles.
- Para proporcionar fuerzas de reacción en pruebas de pilotes.
- Para preconsolidar suelos inestables e incrementar así su capacidad de carga

2.1.3 Tipos de anclaje

Existen varias maneras de clasificar las anclas, pero en este texto recopilaremos las dos más importantes, tomando en cuenta las clasificaciones de Ovando y Holguín (2002) y Ostermayer (1975): Según su vida útil y según su funcionamiento.

Clasificación según su vida útil: Como lo dice su nombre, la principal diferencia en esta clasificación es el tiempo que van a estar trabajando, sin embargo, hay otros aspectos que deben ser tomados en cuenta y que se describen a continuación.

- Anclas temporales: Se usan para la contención de excavaciones o taludes que después se cerrarán o que serán sostenidos por otras estructuras, por lo que las anclas ya no serán necesarias. Otra diferencia es que sólo se necesita una capa de protección contra la corrosión, la cual es otorgada por la lechada alrededor del acero del ancla, y que deberá ser de al menos 2 cm de espesor. El requerimiento de estos 2 cm de espesor se basa en el supuesto de que solamente se desarrollan grietas capilares debido al alargamiento del acero y que no hay grietas longitudinales.
- Anclas permanentes: Permanecen en funcionamiento en toda la vida útil de la edificación, por lo que se debe tener especial cuidado en protegerlas contra la corrosión, incluso debiendo contar con un doble sistema de recubrimiento. Su permanencia depende directamente del mantenimiento que tengan, incluida la posibilidad de ajustar las cargas de tensión.

Clasificación según su funcionamiento: Las anclas también pueden ser clasificadas de acuerdo a la manera en que estas trabajan, es decir, por tensión o por fricción.

- Anclas de tensión: También llamadas anclas activas, proveen fuerzas externas cuya proyección a lo largo de la superficie de deslizamiento es contraria a las que provocan el deslizamiento. Cuentan con un bulbo de anclaje y una longitud libre. Estas anclas comienzan a trabajar cuando se aplica la tensión por medio del gato hidráulico. La inyección se lleva a cabo a presión.
- Anclas de fricción: Se les conoce también como anclas pasivas o *soil nailing*. No se aplica tensado y comúnmente se inyectan por gravedad o con presiones bajas. Se les llama pasivas puesto a que estas comienzan a trabajar cuando el terreno sufre desplazamientos o deformaciones, mientras que esto no pase, no estarán ejerciendo fuerzas externas en el suelo.

2.1.4 Tipos de inyección

Como ya se dijo, el acero de las anclas está recubierto por la lechada, que cumple distintas funciones. Esta lechada puede ser inyectada dentro del barreno de dos diferentes maneras:

Inyección Global Unitaria (IGU) e Inyección Repetitiva Selectiva (IRS). A continuación se enlistan las principales características de cada tipo de inyección:

Inyección Global Unitaria (IGU)

- Baja presión de inyección. Máximo 12 kg/cm².
- Inyección en un solo evento.
- Se utiliza en cualquier tipo de suelo o roca fisurada.
- Puede utilizar obturador o solamente un tapón en la boca del barreno y recubrimiento del acero en la longitud libre.

Inyección Repetitiva Selectiva (IRS)

- Alta presión de inyección. Máximo 30 kg/cm².
- Se inyecta en varias ocasiones en puntos específicos mediante un “tubo de manguitos⁵”
- Se necesita utilizar doble obturador.
- Se necesita menor longitud de excavación.
- Se obtiene mayor capacidad geotécnica.

2.2 Muro de Concreto lanzado

También llamado *shotcrete*, el concreto lanzado es definido por el *American Concrete Institute* como un mortero o concreto neumáticamente proyectado hacia una superficie a alta velocidad. Se le llama mortero lanzado cuando la mezcla cuenta solamente con agregados finos, y concreto lanzado cuando cuenta con agregados finos y gruesos (1995).

El concreto lanzado, al igual que el concreto convencional, cuenta con poca resistencia a la flexión, por lo que esta debe ser suministrada por otros elementos, como lo son la malla electrosoldada utilizada como armado de refuerzo o la adición de fibras de acero o sintéticas en la mezcla en forma de aditivo.

⁵ “Tubo de manguitos”: tubo de PVC con válvulas parecidas a brazaletes (en francés “*manchete*”) de goma espaciadas regularmente a lo largo del barreno.

2.2.1 Tipos de lanzado

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes señala que hay dos maneras de incorporar el agua a la mezcla: al momento del mezclado de los agregados con el cemento y los aditivos, o bien, mezclando los materiales en seco e incorporarle directamente el agua en la boquilla, al momento de la colocación del concreto (SCT, 2000). Es de ahí que el concreto lanzado se puede clasificar en dos tipos: vía seca y vía húmeda. A continuación se detallan algunas características de ambos tipos:

- Vía seca: Se tiene control instantáneo de la consistencia de la mezcla, lo que sirve para cumplir con las condiciones variables del lugar, sin embargo, como el operador regula la cantidad de agua en el momento del lanzado, no se tiene certeza de la relación agua/cemento, lo que causa cierta irregularidad en la mezcla; la manguera es más fácil de manejar, aunque por ser más pequeña, el volumen lanzado también es menor. Una gran característica es que los materiales pueden ser transportados a grandes distancias o dejarse almacenados en obra, puesto que se comienza a fraguar hasta que se hace la mezcla. Cabe resaltar que a la vía seca se le considera mejor para lanzar mezclas de agregados ligeros y materiales refractarios.
- Vía húmeda: El concreto que se utiliza es premezclado, diseñado según los requisitos específicos de la obra, por lo que se tiene conocimiento de la cantidad de agua que se está utilizando; también se tiene menos pérdida de cemento, pues se tiene mayor seguridad de que el agua se mezcla con los demás ingredientes, así como menos polvo. De igual modo, al ser la mezcla más homogénea, se reduce el rebote y con ello el desperdicio. Además, al utilizar una manguera más grande, se puede lanzar un mayor volumen de concreto.

Algo que ambas vías de lanzado comparten es el uso de aditivos, aunque no de la misma manera. Los aditivos son sustancias en estado líquido o en polvo, que reaccionan con la hidratación del cemento, siendo los acelerantes de fraguado los más importantes para el concreto lanzado vía seca, puesto que provocan que el concreto desarrolle una resistencia inicial mayor, lo que permite el lanzado de capas consecutivas con mayor rapidez y mayores espesores (Vidaud y Vidaud, 2014).

Para las mezclas que se lanzan por vía húmeda, los principales aditivos utilizados son los estabilizadores de fraguado, los acelerantes de fraguado, los plastificantes o superplastificantes e

incluidos de aire. Los estabilizadores de fraguado se utilizan para mantener la consistencia del concreto mientras este es transportado. Al llegar al lugar de destino, se agrega el acelerante de fraguado a la mezcla para que sea factible la colocación del concreto por medio del lanzado. En cuanto a los plastificantes o superplastificantes, estos se utilizan para aumentar la trabajabilidad de la mezcla sin utilizar mayor cantidad de agua.

Por las características previamente mencionadas, en la mayoría de las aplicaciones el método seleccionado está determinado por los siguientes factores: economía, disponibilidad de material y equipo, acceso a la obra, y experiencia del constructor (Reyes, 2002).

2.2.2 Ventajas del concreto lanzado

Tomando como fuente algunos artículos publicados por parte del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, en seguida se describen las principales ventajas de la utilización del concreto lanzado:

- Menor costo: El concreto lanzado resulta la mejor opción para estabilizar cortes en los que los muros de contención resultan muy costosos (González, 2009).
- Versatilidad: Es la mejor alternativa para estabilizar taludes de forma temporal, pero también se puede aplicar para contener un corte de manera definitiva (González, 2009).
- Mantenimiento: No hay necesidad de ningún tipo de mantenimiento. (González, 2009).
- Sin vibrado: Se coloca y se compacta al mismo tiempo, gracias a la velocidad con la que se proyecta desde la boquilla (Reyes, 2002).
- Velocidad: Al no requerir cimbra, la velocidad de aplicación se acelera (González, 2009).
- Permeabilidad: Presenta baja permeabilidad (Reyes, 2002).
- Aplicación en sitios difíciles: La aplicación puede hacerse a cualquier altura, puesto que se adhiere inmediatamente y sostiene su propio peso. Se puede aplicar sobre superficies irregulares (Ochoa, 2014).
- Refuerzo: Se puede reforzar con malla o simplemente con fibras (Ochoa, 2014).
- Estética: Puede dársele cualquier acabado y coloración (Reyes, 2002).

2.2.3 Usos del concreto lanzado

Debido a su versatilidad, el concreto lanzado es utilizado para una gran variedad de construcciones, de las cuales, las más comunes son (Reyes, 2002):

- Estabilización de taludes y muros de contención
- Cisternas y tanques de agua
- Canales y drenajes
- Rehabilitación y refuerzo estructural
- Revestimiento de túneles y minas

Se recurrió a las coordenadas UTM Zona 14 ($x = 478844.27$ m, $y = 2148342.27$ m) para encontrar a qué zona geotécnica pertenece el proyecto, como se observa en la figura 3.1. La excavación se localiza en el límite entre la Zona I y la Zona II, por lo se considera que se encuentra en la Zona II: Zona de transición.

El terreno tiene un área aproximada de 590 m², y un perímetro aproximado de 92 m, repartido en cuatro lados irregulares. Los cortes que se llevarán a cabo tienen las siguientes colindancias: la avenida Campos Elíseos, la calle Enrique Ibsen, una casa de dos niveles con jardín y un edificio de tres niveles con un sótano, ubicados como se aprecia en la figura 3.2.



Figura 3.2: Croquis de colindancias del proyecto (verde).

Algunas de estas colindancias cuentan con características especiales. La edificación con sótano, ubicada al oriente de la excavación, obliga a que la primera línea de anclas en este corte

sea colocada debajo del nivel del sótano. Por otro lado, por debajo de la avenida Campos Elíseos, se encuentra el Río entubado Tecamachalco, lo que hace que la primera línea de anclas en este corte deba tener una inclinación diferente para no perforar el ducto. Las colindancias con calle Ibsen (al poniente) y la casa con jardín (al norte) no presentan ninguna característica especial que impida o modifique la construcción de las anclas.

3.2 Modelo geotécnico

La exploración que se llevó a cabo consistió en un sondeo de penetración estándar (Figura 3.4) hasta una profundidad de 35 m y la extracción de muestras inalteradas con tubo Shelby. Dicha exploración se utilizó para la elaboración del modelo geotécnico (Tabla 3.1 y Figura 3.3), cabe aclarar que no se detectó el nivel freático. Basándonos en que la excavación será de 13 m, la profundidad de interés para el modelo es de 17 m.

UNIDAD	SUCS	Descripción	N _{SPT}	w	De	A	γ	C	φ	Consistencia	Compacidad
			[min]	[%]	[m]	[m]	[ton/m ³]	[kg/cm ³]	[°]		
UG-1	<i>Relleno heterogéneo</i>	<i>Relleno artificial</i>	10	14	0	2.5	1.6	0	20	-	-
UG-2	ML-MC	<i>Limo arcilloso</i>	14	23	2.5	4.5	1.3	0.5	-	<i>firme</i>	-
UG-3	SP-SM	<i>Toba limo arenosa resistente</i>	>50	21	4.5	11.5	1.8	0.5	35	-	<i>muy compacta</i>
UG-4	SP	<i>Toba arenosa de baja a media compacidad</i>	29	22	11.5	17	1.7	-	30	-	<i>media</i>

NAF no detectado

Tabla 3.1: Parámetros del modelo geotécnico.

Donde:

- N_{SPT}: Número de golpes en el sondeo de penetración estándar.
- w: Contenido de agua promedio.
- De, A: Cotas que delimitan el estrato.
- γ: Peso volumétrico.
- c: cohesión del suelo.
- φ: Ángulo de fricción interna del suelo.

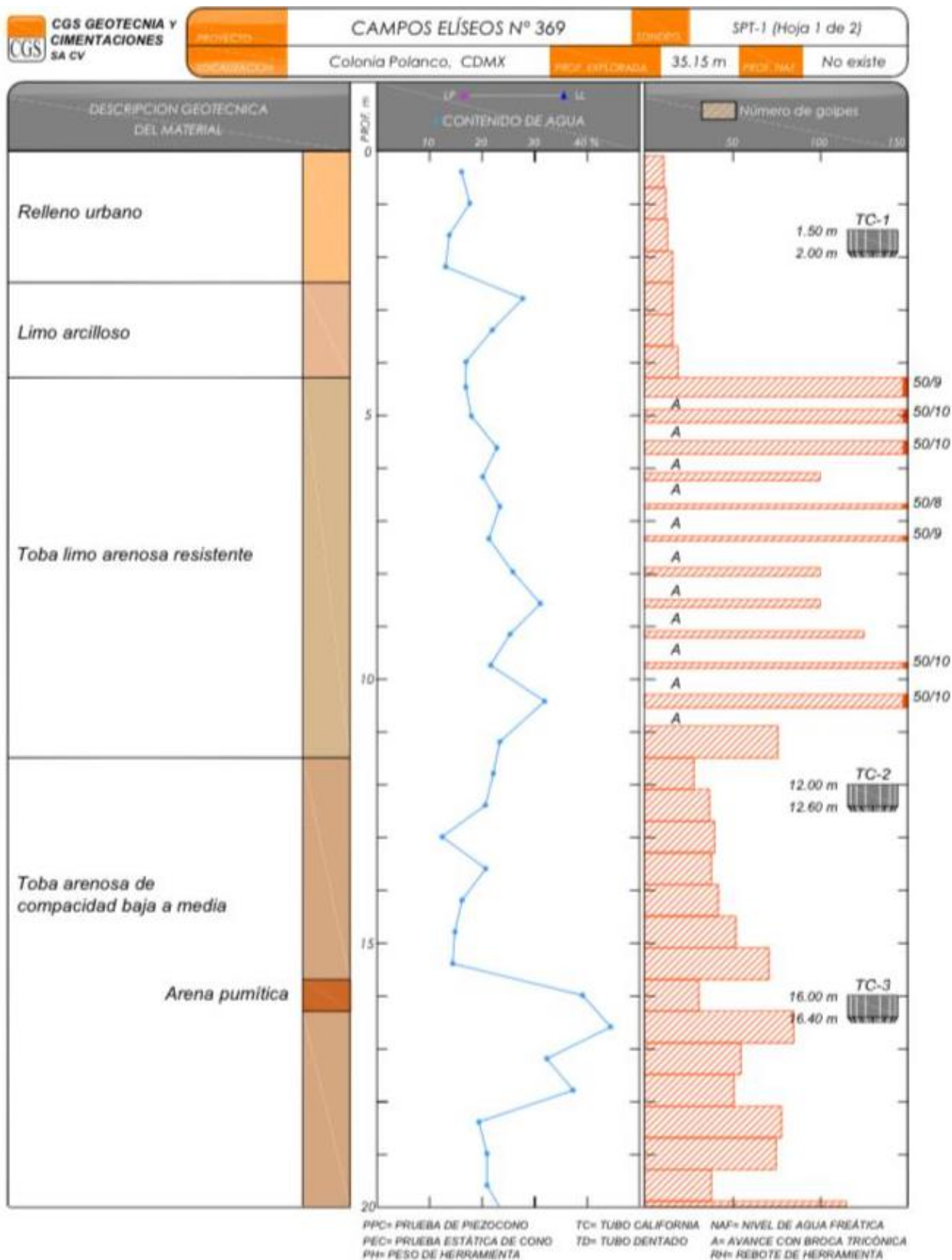


Figura 3.4: Resultados del sondeo de penetración estándar.

3.3 Elementos estructurales utilizados

Los trabajos consisten en la colocación de anclas temporales activas y muros de concreto lanzado reforzado. En seguida se mencionan los detalles acerca de estos elementos:

3.3.1 Anclas

Se trata de 192 anclas postensadas con un diámetro de perforación de 4.5 pulgadas cada una, entre las cuales hay una separación de 3 m y 2.5 m, formando una retícula como la que se puede ver en la figura 3.5.

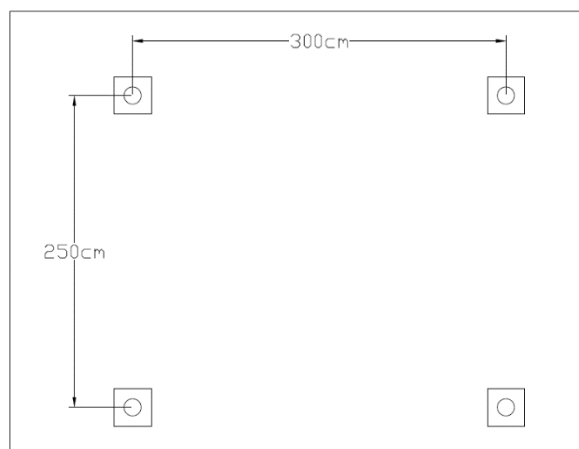


Figura 3.5: Esquema vista de frente de la retícula que forman las anclas sobre la pared de la excavación.

La longitud total de las anclas va de 12 m en unas zonas, hasta 19 m en otras, mientras que la longitud activa va de 6 a 10 m y por fuera del barreno se deja un metro de longitud de tensado. Dichas anclas son inyectadas en una sola exhibición con una lechada que tiene una resistencia de 200 kg/cm^2 , con una presión de 3 kg/cm^2 . En cuanto al armado, dependiendo de su ubicación, las anclas pueden contar con 3, 4 o 5 torones de 0.6 pulgadas de diámetro. El tensado que se aplica a los torones oscila entre 45 a 75 ton. Los detalles de estas características se pueden observar en las tablas 3.2, 3.3 y 3.4.

Las zapatas de reacción de las anclas son de 60 cm de alto por 60 cm de ancho, y tienen un espesor de 25 cm. Para el armado de estas zapatas se utilizan varillas corrugadas del número 4 amarradas con alambre recocado. Cuentan con una placa de apoyo cuadrada de 30 cm^2 y espesor de $\frac{3}{4}$ de pulgada.

Colindancias norte y poniente (Casa con jardín y calle Ibsen)									
Línea de anclas	Longitudes [m]			Número de torones	Tensado total [ton]	Inclinación [grados]	Presión de inyección [kg/cm ²]	Resistencia de lechada [kg/cm ²]	Nivel con respecto a la banqueta
	Pasiva	Activa	Tensado						
L-1	8	9	1	4	60	15	3	200	-1.50
L-2	7	7	1	3	45	15	3	200	-4.00
L-3	6	6	1	3	45	15	3	200	-6.50
L-4	5	6	1	3	45	15	3	200	-9.00
L-5	5	6	1	3	45	15	3	200	-11.50

Tabla 3.2: Características de las anclas en los cortes norte y poniente

Colindancias sur (Av. Campos Elíseos)									
Línea de anclas	Longitudes [m]			Número de torones	Tensado total [ton]	Inclinación [grados]	Presión de inyección [kg/cm ²]	Resistencia de lechada [kg/cm ²]	Nivel con respecto a la banqueta
	Pasiva	Activa	Tensado						
L-1	8	9	1	4	60	23	3	200	-1.50
L-2	7	7	1	3	45	15	3	200	-4.00
L-3	6	6	1	3	45	15	3	200	-6.50
L-4	5	6	1	3	45	15	3	200	-9.00
L-5	5	6	1	3	45	15	3	200	-11.50

Tabla 3.3: Características de las anclas en el corte sur.

Colindancias oriente (Edificación con sótano)									
Línea de anclas	Longitudes [m]			Número de torones	Tensado total [ton]	Inclinación [grados]	Presión de inyección [kg/cm ²]	Resistencia de lechada [kg/cm ²]	Nivel con respecto a la banqueta
	Pasiva	Activa	Tensado						
L-1	8	10	1	5	75	15	3	200	-3.50
L-2	7	9	1	4	60	15	3	200	-6.00
L-3	6	9	1	4	60	15	3	200	-8.50
L-4	5	9	1	4	60	15	3	200	-11.00

Tabla 3.4: Características de las anclas en el corte oriente

3.3.2 Muro de concreto lanzado

El muro tiene un espesor de 15 cm uniforme y tiene como refuerzo una malla electrosoldada 6x6/6-6. El concreto cuenta con una resistencia de $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ y se coloca con un lanzado vía seca. Como aditivo se utiliza acelerante de fraguado. Las zapatas de reacción están dentro del muro, por lo que estas también se rellenarán con el mismo concreto lanzado, como se observa en la figura 3.5.

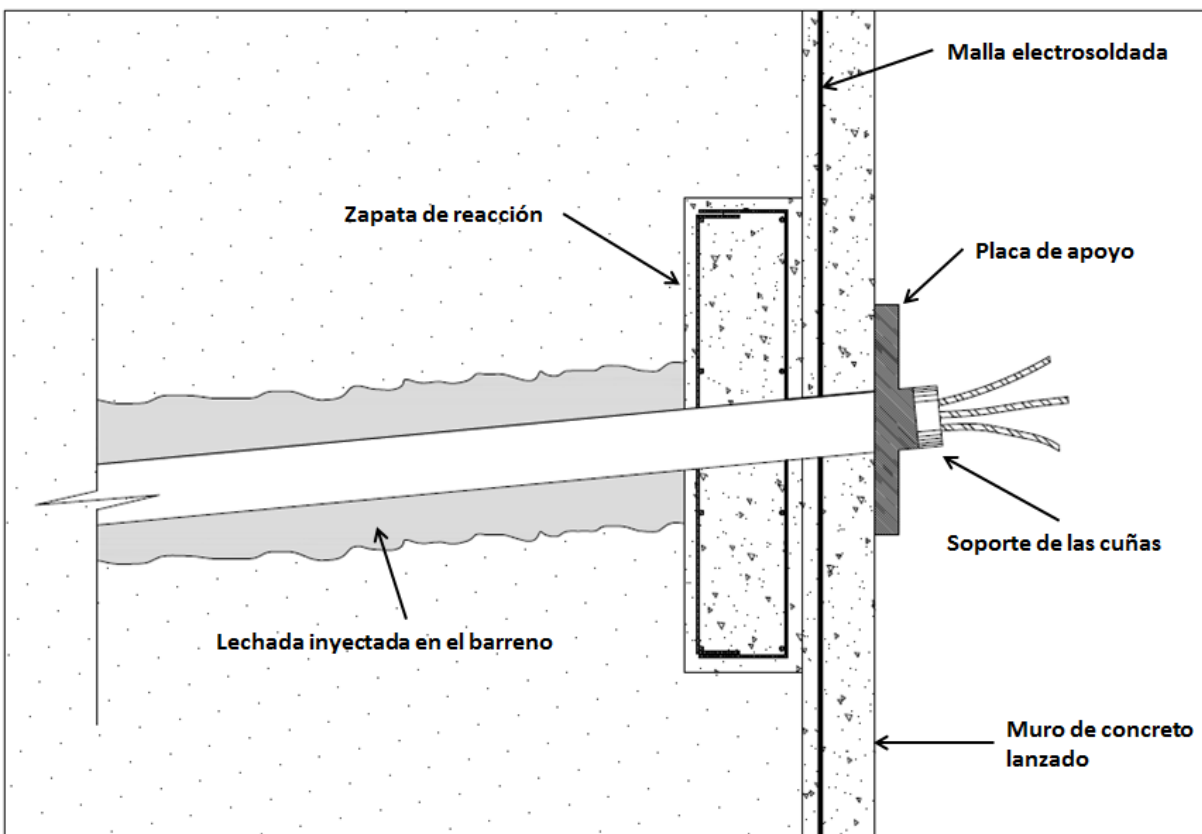


Figura 3.6: Esquema sin escala de la ubicación de la zapata de reacción y la parte superior del ancla.

4. Procedimiento constructivo

A lo largo de la construcción del proyecto se llevan a cabo diversos trabajos, los cuales deben tener una secuencia para poder ser realizados de manera ordenada y sin contratiempos. En este capítulo se detallan estos procesos por cada nivel de excavación, es decir, se tienen que realizar todos los trabajos de colocación de anclas y concreto lanzado, y una vez que se hayan terminado, se puede proceder al siguiente nivel de excavación (Figura 4.1)

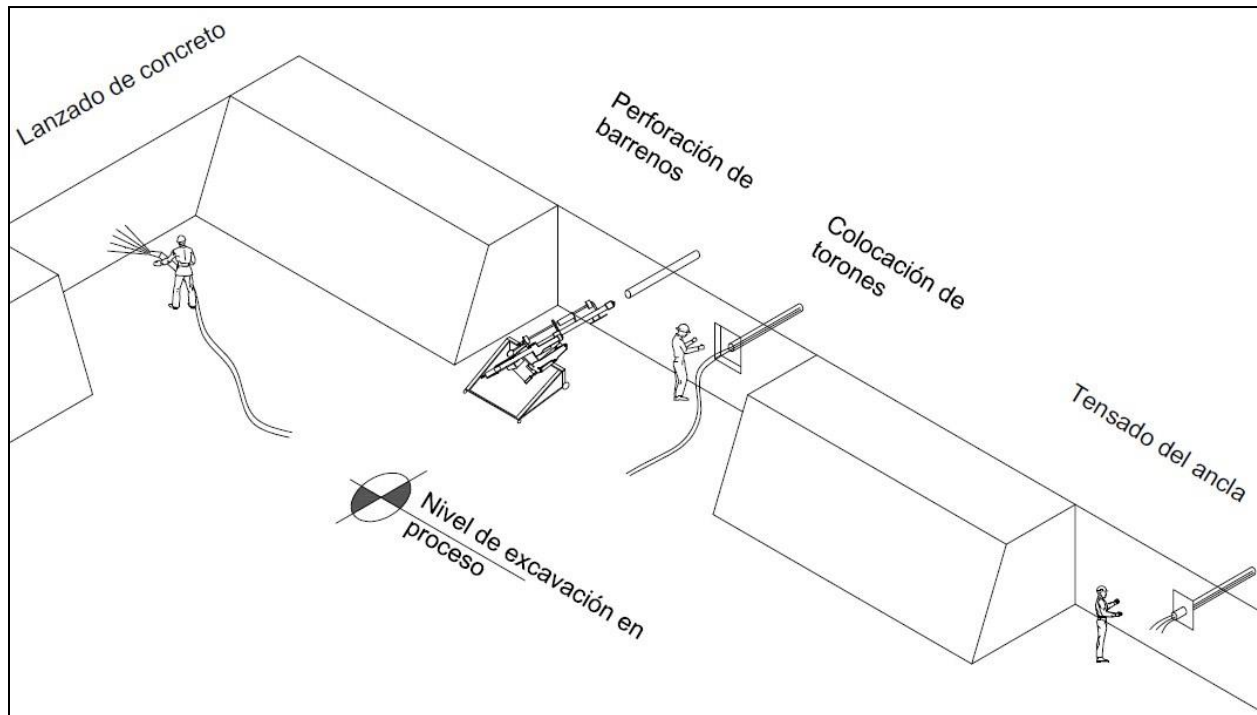


Figura 4.1: Representación de los trabajos a realizar por nivel de excavación

Con respecto al proceso de excavación, se utiliza un sistema en el cual se abren tramos de aproximadamente 9 metros de ancho por 3 metros de altura, dejando las correspondientes bermas intercaladas para seguridad de la excavación. Una vez se colocan las anclas y el concreto lanzado en estas aberturas, se procede a retirar las bermas y colocar el anclaje correspondiente. Al terminar con dicho proceso y tener todas las anclas del nivel en su lugar, se procede con el siguiente nivel, realizando el mismo procedimiento. Estos procesos se detallan a continuación.

Para comenzar, después de que se excava el área solicitada por medio de maquinaria, y se cuenta con una superficie de trabajo horizontal y firme, se procede a perfilar el terreno hasta llegar al nivel deseado (figura 4.2).



Figura 4.2: Perfilado del terreno.

Una vez que se tiene perfilado el terreno se procede a hacer el agujero de la zapata y a colocar el acero de refuerzo, el cual se debe armar paralelamente a los trabajos que se llevan a cabo en la excavación (figura 4.3). Se recuerda que las especificaciones del armado se mencionan en el capítulo anterior.



Figura 4.3: Anillos de varilla y armado de zapatas de reacción.

Ya que el acero de la zapata está en su lugar, se coloca la malla electrosoldada que servirá de refuerzo al muro de concreto lanzado. Para sostener la malla se hincan pedazos de varilla a manera de clavos, en los cuales se amarra la malla mediante alambre recocado. Dichas varillas deben sobresalir del muro al menos 15 cm, puesto que además de sostener la malla, servirán

como guía para que el operador sepa cuando cumple el espesor del concreto lanzado. Al terminar esta fase se tiene la pared de la excavación como se muestra en la figura 4.4.



Figura 4.4: Pared de la excavación perfilada, con armado de zapata de reacción de las anclas y con malla de refuerzo.

Suponiendo que se cuentan con todos los insumos necesarios, se procede a hacer el barreno donde se inserta el ancla. En el proyecto inicialmente se utilizaba la perforadora hidráulica que se muestra en la figura 4.5, la cual perfora con un martillo de fondo que golpea, gira e inyecta aire por medio de un compresor que sirve para sacar el material del fondo del barreno. Esta maquinaria ensambla automáticamente las barras de perforación para llegar a la longitud deseada.

Uno de las principales problemáticas de la obra fue que llegada cierta profundidad le resultó imposible a la perforadora hidráulica salir de la excavación por sus propios medios, debido a las dimensiones del predio. Como solución se recurrió a cambiar la maquinaria por la perforadora neumática que se muestra en la figura 4.6, que es mucho más ligera, aunque la velocidad de perforación es menor debido a que su potencia es muy baja en comparación a la hidráulica y a que las barras deben ser ensambladas manualmente, lo que reduce de manera considerable los rendimientos de obra.



Figura 4.5: Perforadora hidráulica en el fondo de la excavación, que en ese momento tenía una profundidad de 7.5 m.



Figura 4.6: Perforadora neumática en el fondo de la excavación (11.5 m). En la parte superior de la foto se pueden apreciar las barras de perforación.

Una vez que el barreno tiene la longitud deseada, se extraen las barras de perforación y se insertan los torones del ancla (figura 4.7). Los torones tienen, en la parte que corresponde a la longitud libre del ancla, una funda lisa retacada con grasa, la cual impide que se desarrolle fricción entre el acero del torón y la lechada que se inyectará posteriormente. En cambio, en la longitud correspondiente al bulbo de anclaje no se tiene dicha funda, puesto que se busca que la fricción sea la mayor posible entre el acero y la lechada para evitar el arrancamiento del torón. Los torones cuentan con unos centradores de plástico colocados aproximadamente a cada metro, que los mantienen en su posición, protegiéndolos contra la corrosión.



Figura 4.7: Cuadrilla insertando los torones en el barreno. En la figura se pueden observar los centradores en color azul.

Como se observa en la figura 4.7, hasta este momento no se ha llevado a cabo el lanzamiento del concreto en esta zona (donde se está armando el ancla), sin embargo, bien se podría haber lanzado previamente, utilizando una protección en la entrada del barreno para que no le penetre el concreto. Esta protección usualmente es de PVC o algún otro material económico y fácil de colocar y remover; en la figura 4.7 (parte izquierda) se puede apreciar un trozo de PET que se utilizó al no tener PVC disponible en ese momento.

En lo que respecta al lanzamiento del concreto, este se lleva a cabo vía seca. El proceso es el siguiente: Lo primero que se hace es mezclar todos los ingredientes en seco, hasta obtener una mezcla uniforme (figura 4.8). En este punto también se mezclan los aditivos que se utilizan, que en este caso es un acelerante de fraguado. Después, esta mezcla se introduce en la máquina lanzadora, la cual se observa en la figura 4.9. Cuando la tolva de la máquina lanzadora está llena se utiliza aire a presión para llevar el material hasta la boquilla, donde se mezcla con el agua al momento del lanzamiento. Como se puede observar en la figura 4.10 para el lanzamiento se tiene una manguera ancha, la cual lleva los materiales sólidos, y también una manguera delgada, que lleva el agua y que llega directamente a la boquilla. En la figura 4.11 se puede apreciar un diagrama de cómo se conectan los elementos antes señalados hasta llegar al punto final, que es el lanzamiento del concreto. Se aconseja realizar el lanzamiento a una distancia de 4 metros del muro.



Figura 4.8: Mezcla de materiales secos.



Figura 4.9: Lanzadora de concreto.

Como se mencionó en el marco teórico, el desperdicio de material al momento del lanzado depende en su mayoría de la habilidad y experiencia del operario, puesto que la dosificación de agua está siendo modificada a su criterio. Si este añade demasiada agua, la mezcla escurrirá del muro, y si añade menos agua de la necesaria, se tendrá demasiado rebote del material. En ambos casos generando desperdicio innecesario.



Figura 4.10: Lanzado de concreto vía seca.

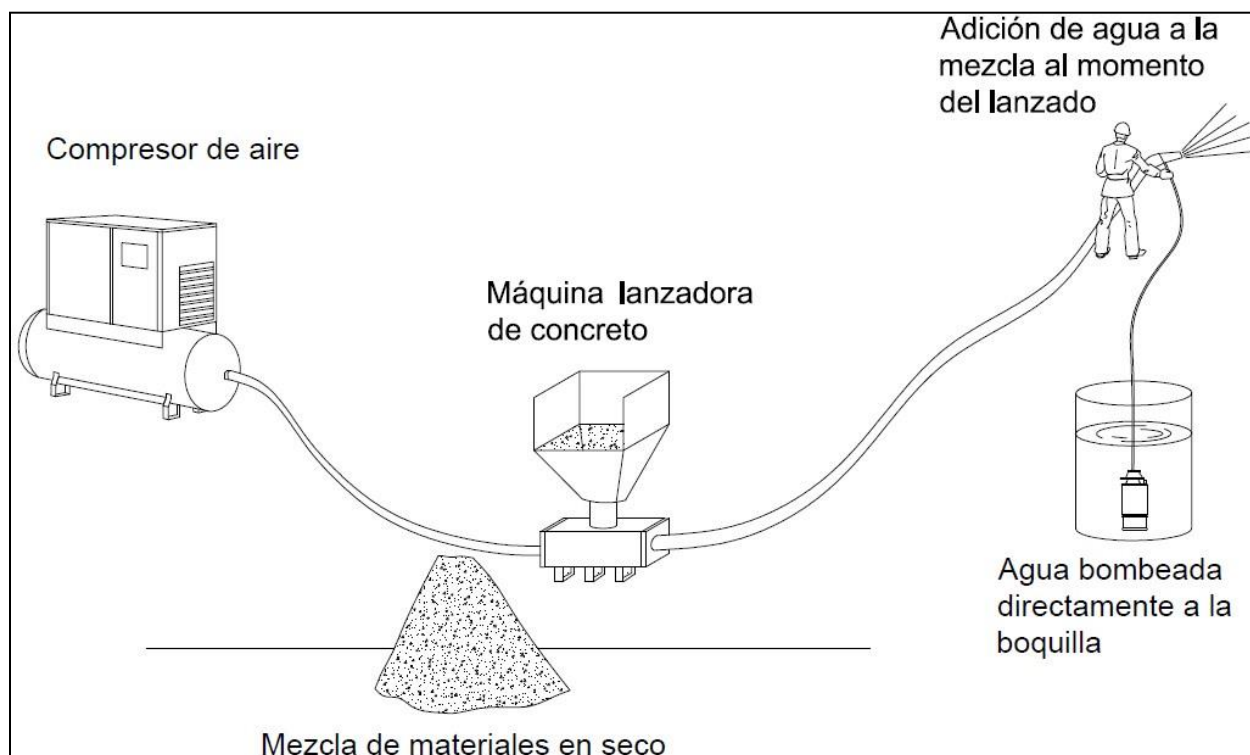


Figura 4.11: Diagrama de elementos de lanzado.

La inyección de las anclas con lechada se lleva a cabo en un solo evento. Para esto, se coloca un tapón en la entrada del barreno, únicamente dejando espacio para la manguera de inyección y la manguera de purga. Esta última sirve para que salga el aire desplazado del barreno y a la vez se utiliza como criterio de paro, puesto que cuando la lechada comienza a salir por esta manguera,

indica que el barreno está completamente lleno. Con este procedimiento se elimina la necesidad del obturador, aunque los bulbos de inyección no pueden tener grandes presiones. Se recomienda que la lechada tenga una proporción mínima de dos veces el cemento con respecto al agua.

Se esperan tres días después de que el ancla fue inyectada para realizar el tensado de la misma. Se coloca la placa de apoyo, el soporte de las cuñas y las cuñas, que servirán para bloquear la tensión en los torones. En la figura 4.12 se puede observar el gato utilizado para llevar a cabo el tensado de las anclas. El gato utiliza como apoyo el soporte de las cuñas para ejercer la tensión en los torones.

Como se puede observar en la figura 4.12, la placa de apoyo cuenta con un accesorio el cual provee al soporte de las cuñas de cierta inclinación. Esto es importante puesto que al tener esta inclinación, la tensión se producida por el gato actúa completamente en la dirección del ancla, cargándola uniformemente.



Figura 4.12: Gato hidráulico con capacidad de 300 ton utilizado para el tensado de los torones.

Después de haber realizado el proceso del tensado se puede decir que el ancla está terminada. A lo largo del procedimiento constructivo se debe tener un registro de anclaje (figura 4.13), cuyos datos principales son los siguientes:

- Fecha, ubicación y número de ancla
- Número de torones
- Longitud de perforación
- Volúmenes de inyección

- Fecha de tensión
- Datos del gato hidráulico
- Fuerza aplicada a los torones
- Elongación de los torones

REGISTRO DE ANCLAJE						
OBRA:	CAMPOS ELÍSEOS 369			HOJA:	1	
ESTRUCTURA:	MURO DE CONCRETO LANZADO			OPERADOR:	PABLO SOLIS	
	MOZACO			PERFORADORA:	SM 14	
CARACTERÍSTICAS						
COLINDANCIA	SUR		DIAM. TORON:	0.6"		
ANCLA No:	1		No. TORONES:	4		
NIVEL DE ANCLA	1		BULBO:	9.00 m		
NIVEL ANCLA:	-1.50 m		SEPARADORES:	Punta de bala		
LONGITUD TOTAL:	18.00 mts.			Bolillos @ 1.5 m		
LONGITUD LIBRE :	8.00 mts.			Estrellas @ 2 m		
PERFORACIÓN						
LONGITUD:	17.00 m		FECHA:	16/11/19		
BROCA:	DRAG (A)		DIAMETRO :	0.11 M		
			ANGULO:	23 GRADOS		
NOTAS:	<hr/> <hr/> <hr/>					
INYECCIÓN						
VOL. TEORICO:	174.43 lts.		$((3.1416 \cdot A^2) / 4) \cdot B$	FECHA:	16/11/19	
PRESIÓN:	3.00 kg/cm ²					
VOL. REAL:	180 lts.					
TENSIÓN						
PRESIÓN DEL GATO:	60 ton		FUERZA TEORICA:	60 ton	FECHA:	22/11/19
ELONGACION TEORICA:	7.47 CM		FUERZA APLICADA:	60 ton	DESP.:	5.9
	P*L/A*E					
1era Colocacion tensando 4 torones						
LECTURA	TIEMPO MIN	MANOMETRO (PSI)	CARGA (TON)	DESPLAZAMIENTO (CM)		OBSERVACIONES
				ELONG. TEORICA	ELONG. REAL	
1	0	0.00	0.00	0.00	3.0	
2	1	2000	12.00	1.49	4.6	
3	2	4000	24.00	2.99	5.7	
4	3	6000	36.00	4.48	6.7	
5	4	8000	48.00	5.98	7.8	
6	5	10000	60.00	7.47	8.9	

Figura 4.13: Registro de anclaje

Con los datos anteriores se puede elaborar la gráfica de tensado, la cual es una relación entre la elongación y la carga aplicada. Esta sirve para saber que se llegó a la tensión de diseño del ancla y para verificar que se cumpla con el funcionamiento teórico esperado; además de tener la certeza de que los torones trabajan en una condición elástica (Figura 4.14).

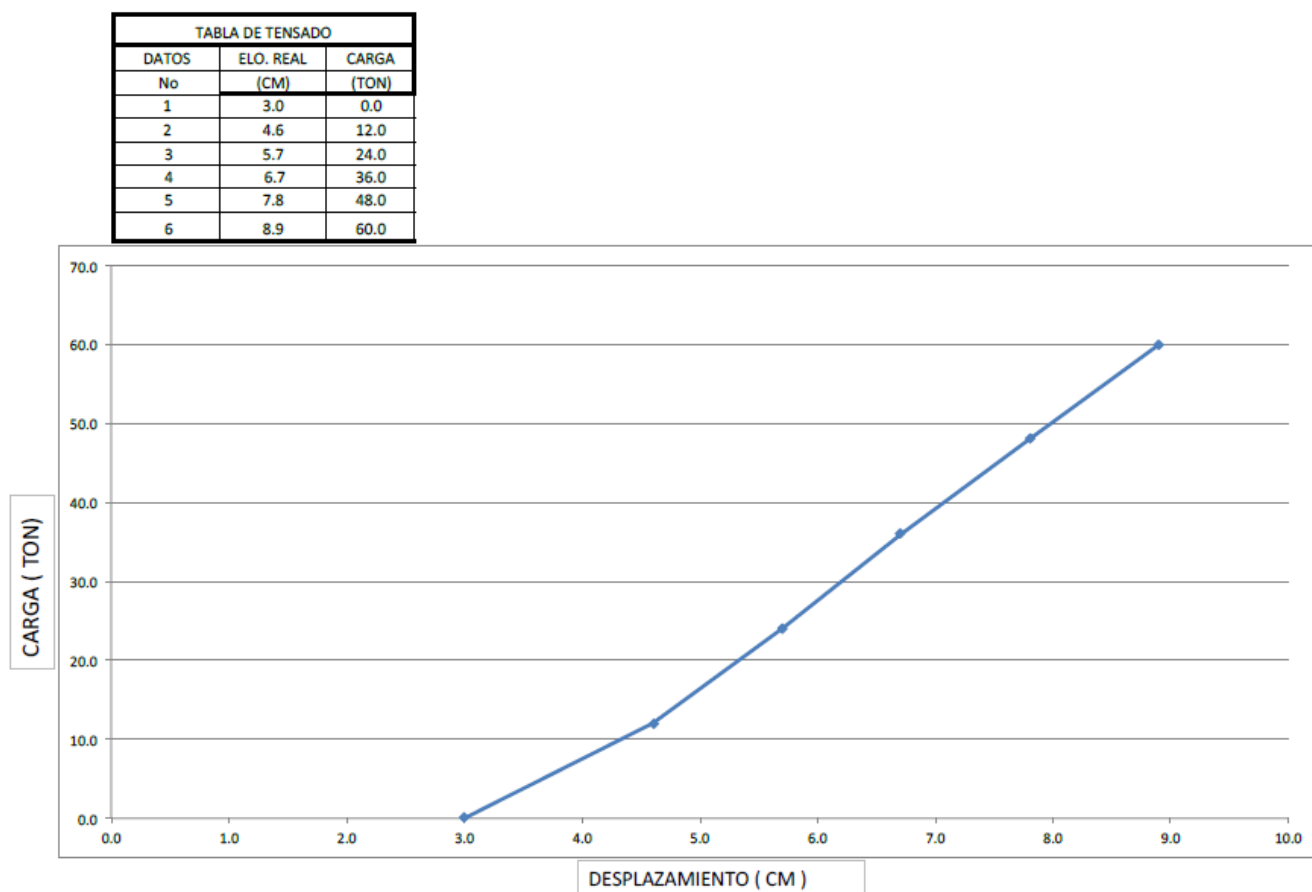


Figura 4.14: Tabla de tensado y su gráfica correspondiente.

Se reitera que se trata de anclas temporales, por lo que deberán ser retiradas cuando ya no sean necesarias. Para el retiro de las anclas se sugiere utilizar un soplete para destruir el soporte de las cuñas y que los torones pierdan su tensión.

En la figura 4.13 se puede apreciar la secuencia que tienen las actividades dentro del procedimiento constructivo de las anclas y el concreto lanzado, comenzando desde que se excava la zona de trabajo hasta que se retiran las anclas, cuando dejan de ser útiles para la contención de la excavación.

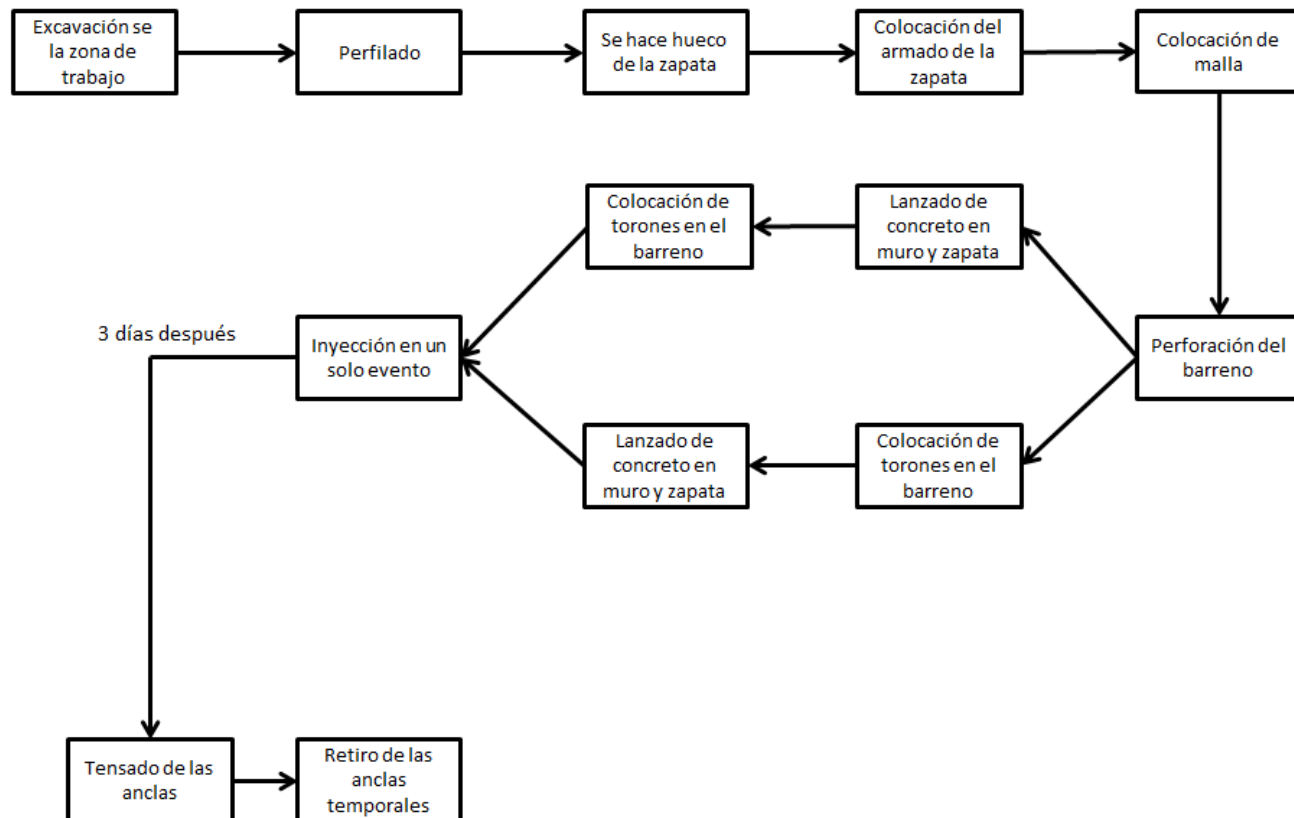


Figura 4.13: Diagrama secuencia de actividades.

Como ya se mencionó, la principal problemática durante el procedimiento constructivo de las anclas y el concreto lanzado fue la necesidad de cambiar de maquinaria para la perforación de los barrenos. Sin embargo, existen algunas otras problemáticas que son muy comunes y que se deben solventar. Estas problemáticas se ven ocasionadas por el entorno del sitio, y como es de suponer, en cada obra se tendrán situaciones diferentes, puesto que cada lugar tiene sus propias características.

Se debe poner atención en las demandas especiales del entorno, las cuales suelen estar relacionadas con ruido, polvo, vibraciones, obstrucción del paso, contaminación y temor a afectaciones de sus viviendas. Dicho temor, puede resultar en la negativa a la construcción de las anclas debajo de las colindancias del proyecto, por lo que se debe tener mucho cuidado con esta situación.

5. Conclusiones

En el desarrollo de esta tesina se describen los procedimientos constructivos de las anclas y el concreto lanzado utilizado en la contención de la excavación profunda ubicada en la alcaldía Miguel Hidalgo, mencionando los elementos requeridos en cada proceso y estableciendo una secuencia de las actividades para que la obra pudiera llevarse a cabo de una manera eficiente y sin contratiempos. Incluyendo fotografías reales de la obra se pudo tener una mejor perspectiva de dichos trabajos, así como del personal y el equipo necesario para desempeñarlos.

Se llevó a cabo una investigación acerca del anclaje y el concreto lanzado en diversa bibliografía especializada, profundizando en los tipos de anclajes, tipos de inyección de lechada y tipos de lanzado de concreto; así como en los principales usos y ventajas de cada uno y en su conjunto. Esto sirvió como base para comprender el funcionamiento de dichos elementos estructurales y tener una visión más amplia de la finalidad de los trabajos a realizar.

El procedimiento constructivo y el diseño deben estar estrechamente relacionados, puesto que depende el uno del otro. Como vimos en nuestro proyecto, se deben de tener todos los detalles del diseño para después proceder a la construcción, y viceversa, no sirve de nada diseñar algo sin tener en cuenta las condiciones en que esto deberá ser construido. Si se realiza un adecuado procedimiento constructivo en la obra, se tiene certeza de que se repliquen los elementos tal cual fueron diseñados. Esta situación se puede observar claramente en la tabla 3.2 (Características de las anclas en el corte sur), pues la primera línea de anclas debió ser colocada con una inclinación diferente a las demás debido a la presencia del Río entubado Tecamachalco. Asimismo, la primera línea de anclas en el corte oriente es colocada debajo del nivel donde se encuentra el sótano en la colindancia.

Una parte muy importante del procedimiento constructivo es la correcta selección de la maquinaria a utilizar para evitar contratiempos. Como lo vimos en esta obra en la que la principal problemática que se presentó fue la disminución de los rendimientos a causa del cambio de maquinaria para perforación de los barrenos. Dicha problemática debió haber sido prevista desde que se hizo el diseño de la obra, puesto que afecta de gran manera el tiempo en que se realizará el proceso perforación, lo que conlleva costos y trabajos adicionales.

Bibliografía

- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2004). Acero de presfuerzo para concreto hidráulico. *Características de los materiales*. México: Diario Oficial de la Federación. Recuperado de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-03-002-04.pdf> (enero, 2020).
- Ovando, E. y Holguín, E. (2002). Sistemas de anclaje en suelos. En Paniagua W. (Ed), *Manual de construcción geotécnica (237-322)*. México: Sociedad Mexicana de Mecánica De Suelos A. C.
- Paniagua, W. (2002). Soil nailing. En Paniagua W. (Ed), *Manual de construcción geotécnica (337-351)*. México: Sociedad Mexicana de Mecánica De Suelos A. C.
- Ostermayer, H (1975). Construction, carrying behaviour and creep characteristics of ground anchors. *Diaphragm walls and anchorages*. Institution of Civil Engineers, London, 141-151.
- Association Francais de Normalisation (2013). *Execution of special geotechnical works – Ground anchors*. Francia: French Standard Institute.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2000). Concreto lanzado. *Construcción*. México: Diario Oficial de la Federación. Recuperado de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-01-017-00.pdf> (febrero, 2020).
- González, J. (2009) ¡Apostemos por el concreto lanzado! *Construcción y tecnología en el concreto*. Recuperado de <http://www.imcyc.com/ct2009/jul09/mejor.htm> (marzo, 2020).
- Reyes, A. (2002) Concreto lanzado. *Construcción y tecnología en el concreto*. Recuperado de <http://www.imcyc.com/cyt/abril02/conclanzado.htm> (marzo, 2020).
- García, L. (2017) Introducción al concreto lanzado. *Construcción y tecnología en el concreto*. 7(1), 34-37 Recuperado de <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/abril2017/abril2017.pdf> (abril, 2020).
- Vidaud, E. y Vidaud, I. (2014) Concreto lanzado: Prospectiva. *Construcción y tecnología en el concreto*. Recuperado de <http://www.imcyc.com/revistacyt/index.php/tecnologia/104-concreto-lanzado-prospectiva-parte-ii> (abril, 2020).

- Ochoa, R. (2014) Concreto lanzado para túneles y taludes. *Construcción y tecnología en el concreto*. 46-51. Recuperado de <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/febrero2014/especial.pdf> (abril, 2020).
- ACI Committee (1995). *Specification for Shotcrete*. E.U.A: American Concrete Institute. Recuperado de http://civilwares.free.fr/ACI/MCP04/5062_95.pdf (abril, 2020).
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda y Secretaría de Obras y Servicios (2017). *Reglamento de construcción de la Ciudad de México y Normas técnicas complementarias*. México: Gaceta oficial de la Ciudad de México.
- Tamez, E. (2001). *Ingeniería de Cimentaciones*. México: TGC Geotecnia.
- Tamez, E., Santoyo, E., Mooser, F. y Gutiérrez, C. (1987). *Manual de Diseño Geotécnico Covitur*. Volumen 1. México: Comisión de Vialidad y Transporte Urbano.
- Santoyo, E. (2010). *Exploración de suelos: Métodos directos e indirectos, muestreo y pruebas de campo*. México: Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica.