



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**CONSTRUCCIÓN DE ANCLAS DE TENSION TIPO TEMPORALES Y  
PERMANENTES COMO REFUERZO EN UNA EXCAVACIÓN.**

**T E S I N A**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**ESPECIALISTA EN CONSTRUCCIÓN**

PRESENTA:

**MARIO PONCE LÓPEZ**

DIRECTOR DE TESINA: **LUIS CANDELAS RAMIREZ**

MÉXICO, D.F.

**OCTUBRE 2015**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**CONSTRUCCIÓN DE ANCLAS DE TENSIÓN  
TIPO TEMPORALES Y PERMANENTES COMO  
REFUERZO EN UNA EXCAVACIÓN**

**JURADO ASIGNADO:**

PRESIDENTE: ING. JUAN LUIS COTTIER CAVIEDES

SECRETARIO: ING. GREGORIO LUCIO PONCELIS GASCA

VOCAL 1: M. I. LUIS CANDELAS RAMÍREZ

VOCAL 2: M.I. JAIME ANTONIO MARTÍNEZ MIER

VOCAL 3: M. I. CARLOS NARCIA MORALES

**TUTOR DE TESINA**

LUIS CANDELAS RAMÍREZ

-----  
**FIRMA**



*Agradezco y dedico este trabajo a mis Padres MARIA y OSCAR por brindarme el apoyo incondicional que siempre he recibido de ellos.*

*Agradezco a la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO por brindarme la oportunidad de seguir capacitándome y ampliando mis conocimientos.*

*Un reconocimiento a la PLANTA DE PROFESORES DE LA ESPECIALIDAD EN CONSTRUCCIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA que con sus experiencias y conocimientos me mostraron otra perspectiva de la Ingeniería civil.*

## Contenido.

<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Resumen ejecutivo.....</b>	<b>2</b>
<b>3. Objetivo .....</b>	<b>3</b>
<b>4. Aspectos generales de las anclas en suelos.....</b>	<b>4</b>
4.1. Aplicaciones de los sistemas de anclaje.....	5
4.2. Usos de un sistema de anclaje.....	6
4.3. Ventajas constructivas de los sistemas de anclaje.....	6
4.4. Algunas desventajas constructivas de los sistemas de anclaje...	7
4.5. Aplicaciones constructivas de los sistemas de anclaje.....	7
<b>5. Descripción de los sistemas de anclaje.....</b>	<b>12</b>
5.1. Generalidades.....	13
5.2. Elementos que integran un ancla.....	13
5.3. Dispositivos auxiliares de las anclas.....	14
<b>6. Clasificación general de los sistemas de anclaje.....</b>	<b>16</b>
6.1. Clasificación de acuerdo a vida útil, funcionamiento, presión de inyección y forma del fuste.....	17
6.2. Otros tipo de sistemas de anclaje.....	20
6.3. Sistemas de anclaje para refuerzo interno.....	21
<b>7. Información básica para el diseño de un sistema de anclas.....</b>	<b>23</b>
7.1. Estudios previos requeridos para desarrollar un proyecto de anclajes.....	24
7.2. Aspectos teóricos del análisis y diseño de los sistemas de anclaje.....	26
7.3. Modos de falla de un ancla.....	26
7.4. Generalidades en el análisis y diseño de un sistema de anclaje.	28
7.5. Aspectos a considerar para estimar la capacidad de un ancla....	34
<b>8. Algunas obras en la Ciudad de México que han empleado anclas pos-     tensadas.....</b>	<b>35</b>

8.1.	Anclas postensadas y muro de concreto lanzado para estabilizar una excavación de 54.5 m.....	36
8.2.	Estabilización de una excavación con Muro Milán y anclas.....	37
8.3.	Anclas activas para reforzar excavación de 40 m.....	38
<b>9.</b>	<b>Proceso constructivo de anclas de tensión tipo temporales y permanentes.....</b>	<b>39</b>
9.1.	Generalidades.....	40
9.2.	Fabricación.....	44
	9.2.1. Procedimiento de fabricación para anclas temporales... 48	
	9.2.2. Procedimiento de fabricación para anclas permanentes 53	
9.3.	Perforación.....	57
9.4.	Equipamiento.....	62
9.5.	Inyección.....	65
9.6.	Tensado.....	71
	9.6.1 Generalidades sobre la aplicación de tensión a un ancla (temporal o permanente).....	77
	9.6.2 Trabajos previos antes de la prueba de tensión.....	77
	9.6.3 Aplicación de tensión.....	79
	9.6.4 Prueba de tiempo.....	82
	9.6.5 Proceso de bloqueo.....	83
9.7.	Protección.....	85
<b>10.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>92</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>94</b>
<b>12.</b>	<b>Lista de figuras, esquemas y tablas.....</b>	<b>105</b>
<b>13.</b>	<b>Normatividad.....</b>	<b>108</b>
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>110</b>

## 1. Introducción.

La infraestructura es fundamental para una sociedad en creciente desarrollo, Un ejemplo de este desarrollo son las edificaciones e inmuebles verticales, algunas de gran altura, las cuales requieren de métodos constructivos especiales para llevarlas a cabo. De esta manera, previamente al inicio de los procesos constructivos, se tiene la necesidad de emplear la geotecnia como campo de estudio.

Prácticamente toda obra de edificación comienza haciendo una excavación, sea para alojar su cimentación o para poder alojar pisos que funcionen como estacionamiento. Una obra puede realizarse sin interferencias con instalaciones aéreas, subterráneas o estructuras vecinas; sin embargo, cuando lo anterior no es posible es necesario contener las paredes de la excavación para no afectar la estabilidad de las estructuras e instalaciones vecinas y como protección de los trabajadores.

Una de los aspectos importantes en geotecnia son los sistemas de contención que se basan en el hecho de que el suelo transmite cargas laterales por este motivo una estructura o sistema de este tipo servirá para contener al terreno. El dimensionamiento de estos elementos se basa en el cálculo de la magnitud y distribución de los empujes ejercidos por el suelo.

Por otro lado, los suelos en los que se excava y se construye un sistema de contención, no tienen una resistencia en términos constructivos “trabajable”, debido a los esfuerzos de tensión, por los que es necesario reforzarlos para mejorar su comportamiento. Así y por recomendaciones del diseño geotécnico, se puede optar por utilizar un sistema de refuerzo en el suelo.

Un ejemplo de elementos constructivos para reforzar los suelos son los sistemas de anclaje, que permiten resistir tensiones y se instalan dentro del terreno aplicando un presfuerzo que reduce deformaciones previas a la aplicación de las acciones. La armadura para los anclajes consiste barras o cables de acero. Pueden tener un carácter temporal o permanente debido a su tiempo de utilización.

En este trabajo se tratarán las anclas activas temporales y permanentes como refuerzo para mejorar el comportamiento de los suelos en excavaciones y como parte de un sistema de contención para éstas.

## **2. Resumen ejecutivo.**

La creación de nueva infraestructura siempre traerá beneficios a una comunidad o ciudad que pretende urbanizar o mejorar sus servicios. Por ello la demanda de estos bienes y servicios es cada vez mayor tanto en calidad como en cantidad, así los inmuebles y edificaciones son cada vez más frecuentes dentro de la Ciudad de México.

En este trabajo se plantea cómo algunas de estas edificaciones requieren de sistemas de refuerzo y contención (anclajes activos temporales y permanentes), debido a la profundidad de excavación que se requiere para realizar una cimentación, contener y reforzarla con elementos de retención como un sistema de anclas como refuerzo.

Se describirán los riesgos constructivos y la dificultad que representa excavar a grandes profundidades, referenciando algunas obras que lo ejemplifican.

También se mencionarán aspectos teóricos de las anclas, usos y aplicaciones en la construcción, se enlistará y describirá de manera detallada el proceso constructivo de fabricación, instalación y mantenimiento a las anclas activas, haciendo hincapié en los materiales y en los aspectos más relevantes de anclajes de este tipo, sean temporales o permanentes.

Finalmente, se mencionarán las conclusiones y recomendaciones con respecto a la investigación y experiencia práctica, proporcionando un recuento general del aprendizaje teórico y práctico adquirido. Se incluirán algunos anexos de carácter relevante asociados al tema.

### **3. Objetivo.**

Describir de manera genérica un sistema de anclaje, usos, aplicaciones en la construcción, además de los aspectos teóricos de algunos tipos de anclas usadas como refuerzo en suelos.

Asimismo, describir la aplicación constructiva de las anclas activas como refuerzo, dentro de un sistema de contención que protege una excavación con muro Milán como elemento estructural. Se definirá el proceso constructivo de dichas anclas tanto temporales como permanentes, con la finalidad de entender los materiales que conforman su estructura.

Se enfatiza la importancia que tiene la implementación de refuerzo a un suelo sometido a empujes de gran magnitud y que por consecuencia necesita estar asegurado con un sistema de anclas, además de la importancia de los muros rígidos de concreto armado donde el sistema de anclas se apoya.

Finalmente, se describirán las conclusiones y recomendaciones adquiridas tanto teóricas como prácticas.

## **4. ASPECTOS GENERALES DE LAS ANCLAS EN SUELOS**

#### 4.1. Aplicaciones de los sistemas de anclaje

Las anclas son usadas para aplicar fuerzas dentro de una masa de suelo o roca, con la finalidad de reforzar su estabilidad, así estos elementos proporcionan fuerzas externas para lograr la estabilidad en un talud, excavación, túnel o galería subterránea.

Estos sistemas de anclaje pueden utilizarse solos o como complemento de otras estructuras de sostenimiento tales como muros de contención, tablestacas y muros Milán entre otros tipos, de tal manera que las anclas pueden usarse en diversos tipos de obras. Su mayor uso es para la estabilización de excavaciones para cimentaciones en zonas urbanas o industriales.

En el Valle de México, la presencia e algunas zonas de materiales granulares ha favorecido su uso, se han utilizado aunque en menor número en la Zona de Transición del Valle de México y en la Zona de Lago es casi nula su utilización. En el interior de la República Mexicana es conocido y cada vez más empleado este sistema por los diseñadores geotécnicos.

Otras aplicaciones de este sistema son para la estabilización de cortes carreteros (figura1) tanto en rocas como en suelos, en obras hidráulicas (presas), puentes, estructuras de contención en las márgenes de ríos y túneles.

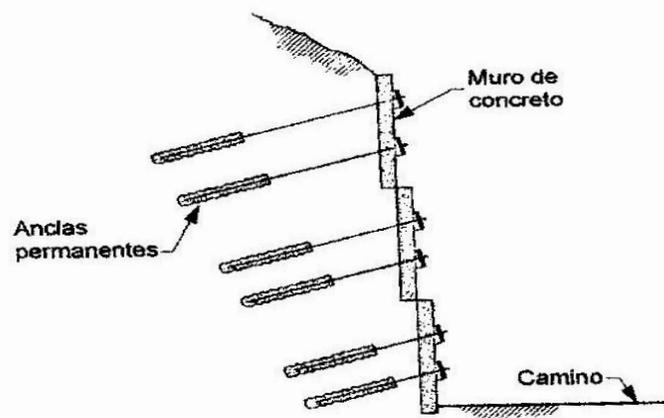


Figura 1. Estabilización de un camino mediante anclas permanentes.

## **4.2. Usos de un sistema de anclaje.**

El objetivo que persigue un sistema de anclaje empleado para reforzar una excavación utilizando como apoyo un muro Milán, es restablecer el confinamiento del suelo en la vecindad del corte y así garantizar la estabilidad de la excavación efectuada para construir por ejemplo el cajón de cimentación de un edificio. También se puede utilizar para restablecer el equilibrio en taludes inestables o aumentar la seguridad de laderas o cortes preexistentes. Los sistemas de anclaje transfieren las fuerzas de tensión de las barras o torones al suelo circundante.

Actualmente el desarrollo de técnicas de perforación e inyección, así como la mejora en la calidad de los aceros, ha permitido que los sistemas de anclajes se vean favorecidos, además de que cada vez se demandan mayores áreas y volúmenes de excavación, condicionando mejoras en los usos y aplicaciones de los sistemas de anclaje.

## **4.3. Ventajas constructivas de los sistemas de anclaje.**

Los sistemas de anclaje se utilizan como medio de soporte al suelo o roca donde se instalan. También, debido a su geometría y forma ocupan menos espacio que otros sistemas constructivos que utilizan troqueles, puntales, taludes temporales con bermas, siendo en situaciones especiales el mejor medio de mantener la estabilidad de la masa de suelo o roca.

## **4.4. Algunas desventajas constructivas de los sistemas de anclaje.**

En los medios donde se instalan estos sistemas es fundamental que realicen su función de anclaje, esto debido a que en ocasiones los ambientes agresivos reducen su eficiencia. También la errónea decisión de implementar un sistema de anclas en un medio donde no pueda ser eficiente, así como los procedimientos que se utilicen para instalarlos, son condiciones que han provocado restricciones a su uso en ciertos medios.

Al implementar un sistema de anclas es indispensable conocer el subsuelo, en particular la estratigrafía y propiedades de dicho material. Lo anterior propiciará que los trabajos de laboratorio y gabinete que se realicen para definir las características de los materiales, eleven los costos para el proyecto, pero son totalmente necesarias para poder definir los sistemas de anclaje adecuados.

Otro aspecto importante a considerar cuando se implementan estos sistemas, son las “interferencias”, que no son más que obstáculos que un ancla al ser instalada puede encontrarse a lo largo de su longitud de trabajo dentro del subsuelo, más en zonas urbanas e industriales. La existencia de ductos, tuberías, túneles u otros obstáculos, es otra de las limitantes para el uso y aplicación de estos sistemas. A partir de esto se deben realizar levantamientos en el perímetro de la zona para localizar las mencionadas interferencias, e incluso evitar invadir terrenos ajenos. También, en su caso, conseguir con las autoridades correspondientes, los planos de instalaciones que puedan existir en las zonas de trabajo, para aplicar las mitigaciones necesarias, de común acuerdo. De igual manera y para estos casos, es recomendable tener el consentimiento y aprobación de los vecinos, más si se trata de anclas que posean una longitud considerable que atraviesen predios adyacentes.

Finalmente, desde el aspecto constructivo, se requiere de personal experimentado y especializado, además de maquinaria y equipo.

#### **4.5. Aplicaciones constructivas de los sistemas de anclaje.**

Los sistemas de anclaje son empleados en suelos, rocas y ambientes fluviales.

*Las anclas en suelos pueden utilizarse para:*

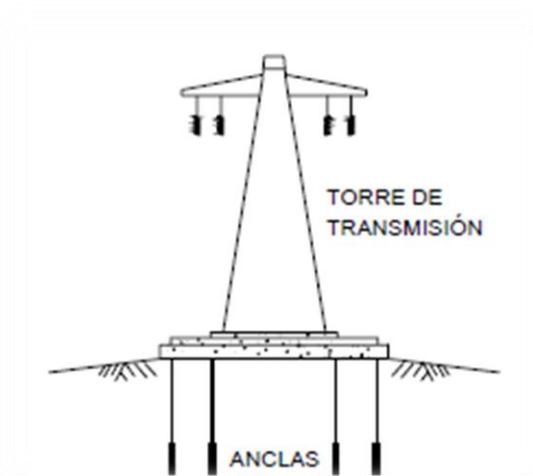
1. Elementos de soporte en excavaciones profundas para cimentaciones (figura 2).



*Figura 2. Anclas como elementos de soporte sobre muro Milán.*

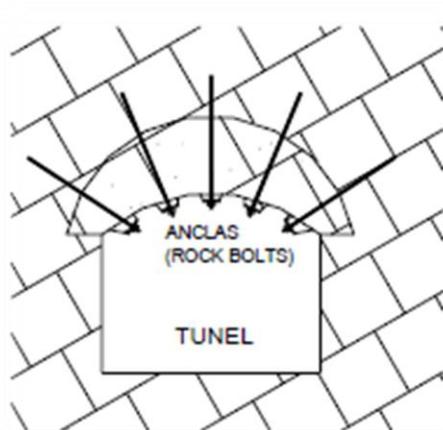
2. Equilibrar los momentos de volteo en estructuras como:

- Torres de transmisión (figura 3)
- Tanques
- Chimeneas
- Atraques de puentes



*Figura 3. Anclas como elementos que evitan los momentos de volteo.*

3. Elementos para prevenir expansiones o para compensar subpresiones en losas de fondo o pisos de excavaciones.
4. Elementos de soporte en túneles (figura 4).

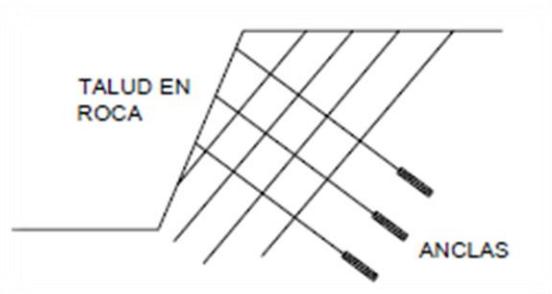


*Figura 4. Anclas como elementos de soporte en túneles.*

5. Proporcionar fuerzas de reacción en pruebas de pilotes.
6. Para preconsolidar suelos inestables e incrementar así su capacidad de carga.

*Las anclas en rocas pueden ser utilizadas como:*

1. Protección y estabilización de formaciones rocosas y taludes (figura 5).



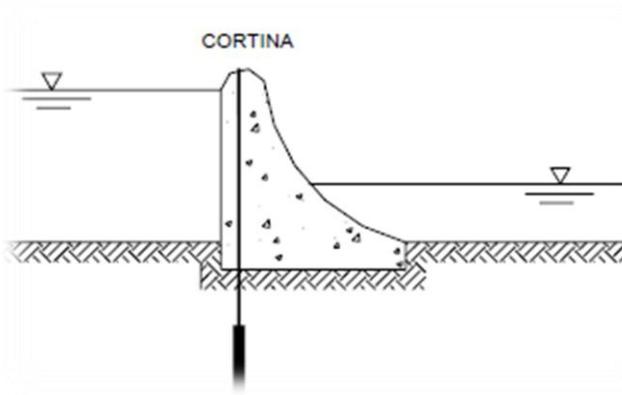
*Figura 5. Anclas para estabilizar y proteger un macizo rocoso.*

2. Sustituto de puntales, troqueles o armaduras en galerías o cavidades.
3. En túneles (figura 6).



*Figura 6. Protección de muros entre estaciones para continuar con tuneleo.*

4. Presas de gravedad o de arco para compensar los momentos de volteo (figura 7).



*Figura 7. Anclas como elementos de compensación de fuerzas.*

5. Para estabilizar rocas fracturadas.
6. En atraques de puentes.
7. En cimentaciones para estructuras esbeltas.
8. Para consolidar galerías y socavones en minas.

*En ambientes fluviales como:*

1. Protección de estructuras costeras (figura 8).

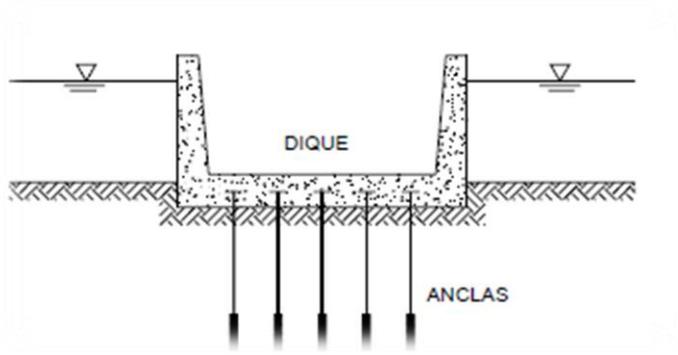


Figura 8. Anclas para estabilizar estructuras marinas.

2. Para estabilizar terrenos cercanos a las corrientes fluviales (ríos, mares)
3. Protección de:
  - Taludes marginales
  - Canales de navegación
  - Muelles (figura 9).

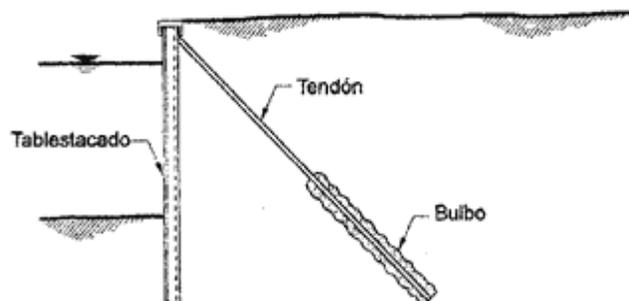


Figura 9. Tablestacado anclado en un muelle.

4. Para reforzar instalaciones fluviales o marinas existentes.

## **5. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE ANCLAJE**

## 5.1. Generalidades

Los sistemas de anclaje como ya se mencionó, son utilizados en suelos y rocas. De esta manera el tipo de anclas dependerá del medio donde se tenga previsto instalarlas, así como las particularidades y necesidades del proyecto, además de los factores económicos del mismo. A partir de esto se han diseñado sistemas de anclajes que solo se pueden utilizar en rocas, así como también sistemas de anclaje que solo se usan en materiales térreos.

## 5.2. Elementos que integran un ancla.

Constructivamente hablando, el anclaje se inicia haciendo una perforación que alojara al ancla o tirante. La perforación se realiza en la cara del talud o corte donde se colocará el ancla, y debe tener un diámetro suficiente para que entren libremente el ancla, el mortero a inyectar y las varillas o torones. Es importante que exista un espacio suficiente entre las varillas o torones y el barreno con la finalidad de que el mortero que se inyecte pueda adherirse con aquellos; también este espacio permitirá que se desarrollen fuerzas de fricción entre el mortero y el terreno circundante.

La longitud de un ancla a la que se le aplica presfuerzo, consta de tres tramos (figura 10):

1. *Longitud de bulbo.* Este tramo queda en el fondo del barreno, se extiende una longitud suficiente para que se desarrollen las fuerzas de diseño. En él se inyecta mortero a presión para aumentar los esfuerzos dentro del bulbo y en el terreno circundante a él. El bulbo queda cerrado por un obturador que permite la presurización al mismo tiempo que lo aísla de la parte exterior del barreno.
2. *Longitud libre.* En este tramo no se aplica mortero a presión, pero se puede rellenar con mortero de menor calidad que el utilizado en el bulbo, el procedimiento de inyección se realiza por gravedad. En esta fracción no existe transferencia de cargas entre el ancla y el terreno circundante.
3. *Longitud de tensado.* Este tramo del ancla es la que se requiere para aplicar fuerzas de tensión o efectuar pruebas de carga a la misma.

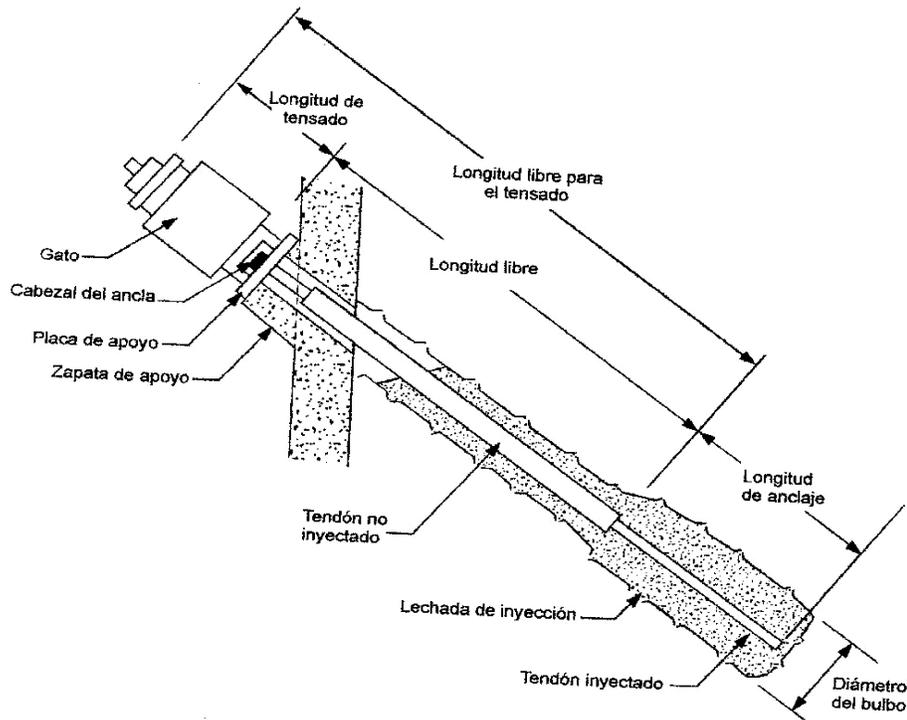


Figura 10. Perfil general de un ancla activa puesta en tensión.

### 5.3. Dispositivos auxiliares de las anclas.

Existen dispositivos que tienen la función de proteger y lograr que las barras o torones (según sea el tipo de ancla) logren que su trabajo sea eficiente; a continuación se mencionan algunas:

**14. Funda de protección.** Es un tubo liso, en la que se alojan los torones o barras según sea el tipo de anclaje. Esta protección inicia desde la boca del barreno y termina conectada firmemente al obturador. Puede optarse por el relleno con lechada o simplemente engrasándola, con el fin de evitar corrosión en las barras o torones.

**15. Tubo de inyección.** Es un tubo provisto de manguitos, que son bandas de hule que cubren los orificios que posee el tubo. Este tubo se coloca dentro del barreno y la lechada de inyección sale a través de los orificios. Alrededor de este tubo se instalan las barras o torones según sea el caso,

la tubería de inyección abarca toda la longitud del barreno, desde la boca hasta el tramo final.

16. *Obturador*. Tiene como finalidad sellar y aislar el bulbo de inyección del resto del barreno, básicamente es un tapón por el cual pasa el tubo de inyección, así éste se infla para lograr un sello adecuado, además de que así puede inyectar la parte superior del bulbo.
17. *Separadores*. Son de plástico de sección circular, tienen una perforación circular en medio, de esta manera el tubo manguito pasa al mismo tiempo que las barras o torones ocupan el espacio que existe alrededor de los separadores. Los separadores se colocan dentro del bulbo de inyección, con la finalidad evitar que los torones o barras se toquen entre si y también al tubo de inyección.
18. *Opresores*. Su función es oprimir los cables o torones para evitar movimientos no deseados durante la instalación del ancla (figura11).



*Figura 11. Opresor metálico o fleje.*

## **6. CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS SISTEMAS DE ANCLAJE**

## 6.1. Clasificación de acuerdo a vida útil, funcionamiento, presión de inyección y forma del fuste.

a) *Según su vida útil son:*

- Temporales. Se usan para estabilizar taludes, cortes verticales, excavaciones para cimentaciones de edificios. En este caso el anclaje ofrece menos deformaciones que otros sistemas aplicables como brocales o puntales; la vida útil de un ancla temporal es de algunos meses aunque puede llegar hasta dos años.
- Permanentes. Para garantizar la permanencia de un sistema de anclaje se deben proteger sus partes vulnerables, de los agentes agresivos del medio donde se instalan, tales como la corrosión. Esto se logra protegiendo los aceros y morteros (lechada) principalmente; así, la permanencia dependerá de las previsiones que se implementen para darles mantenimiento, llegando incluso hasta ajustar las cargas de tensión a las cuales fueron sometidas.

b) *Según su funcionamiento.* Se clasifican en activas y pasivas. Las primeras son anclas de tensión y las segundas anclas de fricción. se diferencian en que las primeras proporcionan fuerzas actuantes y las segundas contribuyen a aumentar las fuerzas resistentes, como se trata a continuación:

- Anclas de fricción. Se les conoce como elementos pasivos que proporcionan fuerzas externas para estabilizar un talud. Estas anclas empiezan a trabajar solo hasta que el suelo o macizo rocoso que las rodea comienza a sufrir desplazamientos o deformaciones; por esta razón se les llama elementos pasivos de refuerzo (figura 13).
- Anclas de tensión. Estos elementos proporcionan activamente fuerzas externas con el fin de lograr la estabilidad de taludes o excavaciones. Este tipo de anclas comienzan a trabajar cuando se aplican fuerzas axiales mediante dispositivos que aplican tensión, de ahí que se les llame elementos activos. (figura 12).

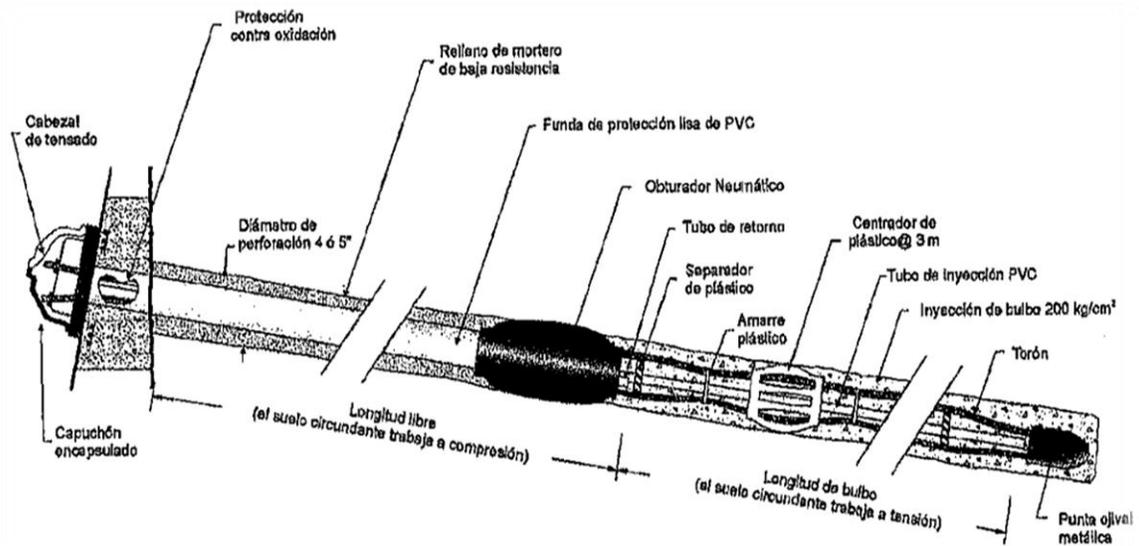


Figura 12. Anclas de torones con cabeza para aplicar tensado.

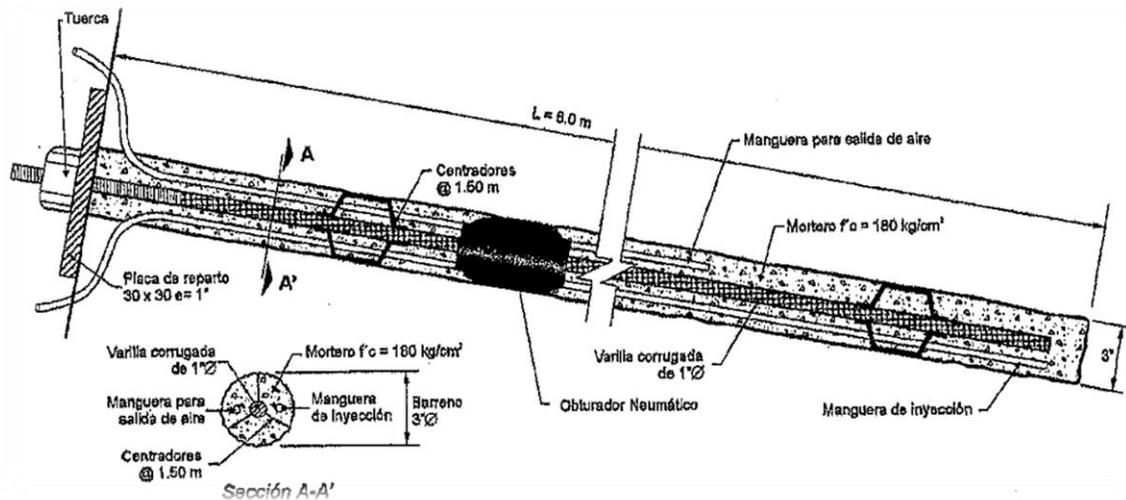


Figura 13. Anclas con tuerca para fijación mecánica.

- c) Según la presión de inyección. Esta presión dependerá del tipo de terreno donde se perfora el barreno, en función del cual se decide la magnitud que se utilice para la presión de inyección, de acuerdo a la magnitud de la presión, existen:

- Anclas de alta presión. Se utilizan principalmente en rocas, gravas y suelos arenosos compactos. La presión de inyección excede los 10 kg/cm<sup>2</sup> con la finalidad de optimizar la transferencia de carga del ancla al medio circundante, incrementando los esfuerzos normales en los alrededores del bulbo inyectado, y aumentando el diámetro del mismo.
  - Anclas de baja presión, llamadas también de bulbo recto. Se utilizan principalmente en rocas, suelos cohesivos, arenas y gravas. La presión en este tipo de anclaje no excede los 10 kg/cm<sup>2</sup>. La inyección aumenta y mejora la transferencia de carga ya que la capacidad de anclaje depende de la interacción entre la inyección y el medio circundante.
  - Anclas con inyección posterior. En una primera etapa se inyectan por gravedad y posteriormente se realiza una inyección de manera sucesiva, esperando uno o dos días entre cada inyección. Para poder realizar las reinyecciones, se prevé un tubo a lo largo de la longitud del bulbo, las reinyecciones fracturan la inyección inicial que fue por gravedad ensanchando así el bulbo.
  - Anclas con reinyección posterior. Se usan en suelos cohesivos de baja plasticidad, en suelos granulares y en rocas. De la misma manera que las anteriores, las reinyecciones se utilizan para mejorar la transferencia de carga entre el bulbo y el material circundante.
- d) *Según la forma del fuste.* El ensanchamiento de una parte de la longitud del barreno (sea a lo largo o hasta el final del barreno), tiene por objeto aumentar la capacidad del ancla. Sin embargo la dificultad constructiva y el alto nivel de especialización han limitado su uso. Existen:
- Anclas con campana en el fondo. Utilizadas en EU para suelos cohesivos firmes y consistentes. Necesitan barrenos de gran diámetro que no requieren de un ademe. Las inyecciones pueden ser con lechada o concreto vertido por gravedad.
  - Anclas con campanas múltiples. Se utilizan en suelos cohesivos rígidos y en rocas débiles. los espacios entre las campanas se

seleccionan para minimizar las posibles fallas por cortante que se pudieran presentar en la superficie perimetral de las campanas.

## 6.2. Otros tipos de sistemas de anclaje.

En suelos arcillosos de alta plasticidad es difícil instalar anclajes, por lo cual se han creado y desarrollado sistemas para colocar anclas en este tipo de terrenos. Algunos de estos sistemas:

- a) *Anclas con muerto de concreto.* Se utilizan para rellenos compactados a profundidades hasta de 3 m. El ancla se tensiona delante del muerto de concreto, aprovechando la resistencia pasiva de éste. El ancla queda embebida en el muerto de concreto o apoyada con algún dispositivo mecánico. Se aplican principalmente en muros marinos y muelles, por lo que es necesario proteger el ancla con conectores y elementos de acero que eviten la oxidación que es provocada por la variación de los niveles de agua (figura 14).

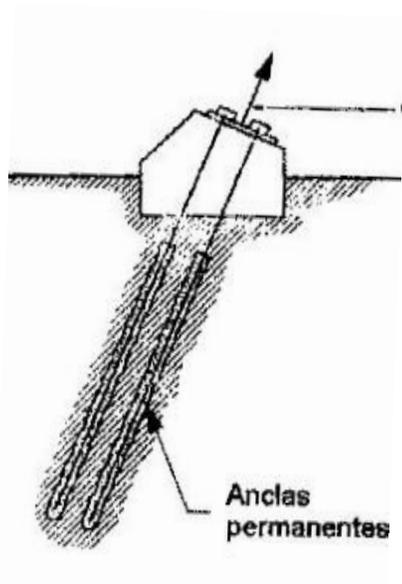


Figura 14. Muertos de concreto con anclas.

- b) *Anclas con membrana expandible confinada.* Utilizada en suelos cohesivos con el fin de aumentar la transferencia de carga entre el ancla y el suelo. La

lechada se confina dentro de una membrana prevista, el sistema, llamado "soilex" en el cual la membrana está formada por una delgada lámina de acero que se expande al inyectar concreto, ocupando un volumen mucho mayor que el que inicialmente posee. De esta manera es posible conocer con más precisión el volumen y la presión inyectada dentro de esta membrana. Al aplicar tensión a este tipo de anclas, el suelo se comprime y de esta manera la resistencia pasiva de suelo que circunda la membrana equilibra a la fuerza de tensión en el tendón del ancla.

- c) *Anclas de fijación mecánica.* Uno de estos sistemas de anclaje es el sistema "mantarraya", el cual consta de una placa articulada que se hincan dentro del terreno con dispositivos hidráulicos o neumáticos. Esta placa contiene un gozne el cual se conecta al tendón de anclaje. De esta manera, cuando se tensa el tendón la placa, gira hasta quedar en dirección perpendicular al tendón y finalmente se aplica la carga de tensión requerida. El suelo ofrece su resistencia pasiva a la placa para equilibrar la fuerza de anclaje.
- d) *Anclas de tornillo helicoidal.* Formadas por barras de acero las cuales cuentan con aletas helicoidales, Estas barras son hincadas sobre el terreno por rotación, las dimensiones y el espacio entre aletas estarán dadas por las condiciones del terreno y los requerimientos de carga. Este tipo de sistema se utiliza en muros de retención como clavos de anclaje; también se han anclado tuberías sumergidas, torres de transmisión (sujetas a momentos de volteo) y estructuras marinas.

### **6.3. Sistemas de anclaje para refuerzo interno.**

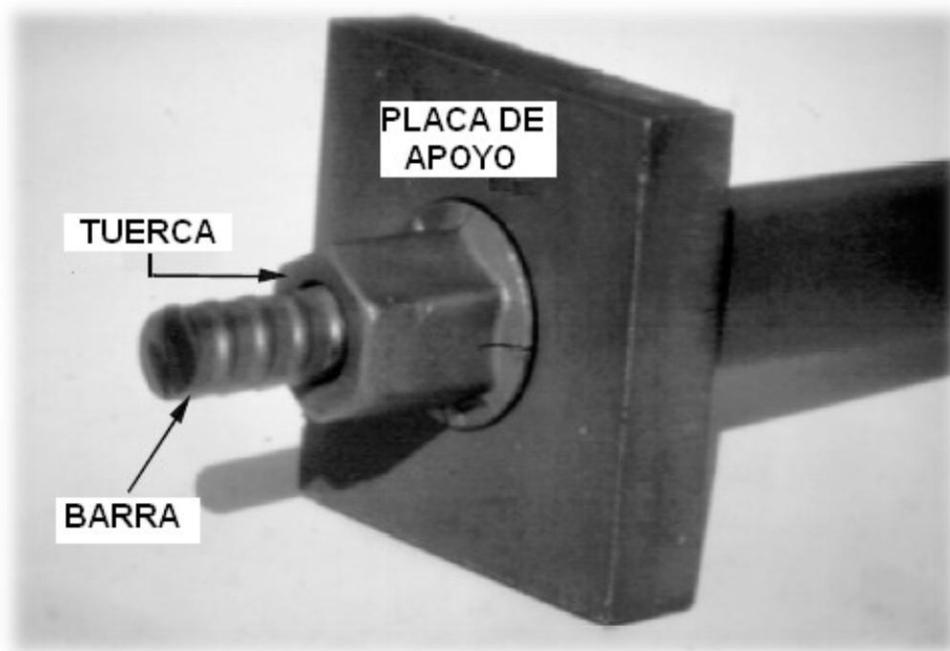
Existen otros sistemas que proveen de refuerzo a un cierto volumen de suelo, así el suelo se comporta de tal manera que puede aprovecharse para aplicar la ingeniería geotécnica. A continuación se describe un tipo de sistema de anclaje de refuerzo interno.

*Clavos de anclaje.* Estas son anclas cortas, con diámetro pequeño, constituidas de varillas de acero encapsuladas en mortero inyectado. Las varillas se colocan dentro del suelo para reforzarlo. Generalmente esto se realiza por encima del nivel freático. El espaciamiento entre clavo y clavo va desde los 0.25 m hasta los 2.0 m.

De esta manera la masa de suelo tratada se convierte en un bloque que permite estabilizar por gravedad al suelo retenido. (figura 15).

Estas anclas-clavo son elementos pasivos de refuerzo, concibiéndose así como anclas de fricción. Se pueden usar en suelos de los siguientes tipos:

- Suelos residuales
- Roca intemperizada
- Arcillas
- Limos arcillosos
- Arenas naturalmente cementadas
- Arenas con gravas densas
- Arenas finas o medias



*Figura 15. Tendón hecho a base de una barra de acero*

## **7. INFORMACIÓN BÁSICA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ANCLAS**

## 7.1. Estudios previos requeridos para desarrollar un proyecto de anclajes

Como en cualquier proyecto, antes de su realización se requerirá una serie de estudios previos, que servirán como base para mejorar la toma de decisiones dentro del mismo. Para el caso de un proyecto de anclajes los estudios que normalmente se realizan, son los siguientes:

- a) *Estudio topográfico*. Se deben realizar levantamientos a detalle con el fin de precisar las condiciones geométricas del talud, así, estos levantamientos arrojarán planos con curvas de nivel y perfiles del terreno. Como apoyo se pueden consultar las cartas del INEGI, las cuales mostrarán las condiciones topográficas de la zona, además de consultar fotografías aéreas con el fin de inspeccionar los relieves. Una vez realizados estos trabajos, se pueden planear las maniobras para transportar y operar el equipo de perforación necesario para efectuar la exploración geotécnica, también se sabrá si se requiere realizar cortes en los taludes, además de conocer los volúmenes de obra que se pueden estimar con la topografía del lugar. A su vez, estos estudios servirán para la ejecución de trabajos preliminares, tales como caminos de acceso, andamios para el personal o equipo mecánico, rutas para el suministro de materiales. Incluso estos estudios tienen el alcance y la importancia de ser útiles en la decisión para la selección del equipo para perforar los barrenos para el anclaje. A su vez, estos estudios son importantes en los análisis de estabilidad.
- b) *Estudio geotécnico*. Es indispensable realizar este estudio con el fin de conocer las condiciones geotécnicas relevantes para el proyecto. El estudio contendrá por lo menos:
  - Antecedentes. Conocer el uso que se le dió al predio con anterioridad. Esto es indispensable para obtener información acerca de problemas de inestabilidad en las construcciones anteriores, si es que ahí hubo alguna construcción, o simplemente tener conocimiento del comportamiento del suelo. Las fotografías aéreas son de mucha utilidad.

- Visitas de inspección. Con ellas los proyectistas y constructores, podrán planear más eficientemente la secuencia y desarrollo de las actividades posteriores, no solo se debe visitarse predio sino también los alrededores.
- Geología regional y local. Existen proyectos en los cuales se requerirá de la ayuda de un especialista geólogo, con la finalidad de conocer el origen de los materiales de la zona y de cómo los procesos geológicos afectan. Sin embargo, si el proyecto no lo requiere, bastará con revisar las cartas geológicas del sitio.
- Geología estructural. En proyectos donde se implementen los sistemas de anclaje y donde existan rocas y suelos con discontinuidades, fracturas, grietas, entre otras malformaciones, se deberán llevar a cabo estudios de geología estructural, Dichos estudios identificarán la inestabilidad, mecanismos de falla, etc. Esto representa un buen inicio para proponer soluciones dentro del proyecto.
- Estratigrafía. Es fundamental conocer la estratigrafía del subsuelo para poder identificar y comprender los problemas de inestabilidad. Para obtenerla se deben realizar sondeos o exploraciones de campo.
- Propiedades índice. Las propiedades índice proporcionarán una estimación del comportamiento de la masa de suelo o roca en donde se instalará el sistema de anclaje.
- Propiedades mecánicas. La resistencia al corte es fundamental en la implementación de los sistemas de anclaje. En los análisis de estabilidad, es necesario tomar las condiciones de carga reales que operan y ponderar la condición más desfavorable en el caso de estudio.
- Condiciones hidráulicas. La humedad y la presencia de agua son algunos de los principales factores que conllevan a deslizamientos. Por esta razón, se debe tener conocimiento del

régimen de lluvia en la zona e investigar cómo se almacena el agua dentro y fuera del corte para planear la instrumentación adecuada, que determinará las condiciones hidráulicas que permitan diseñar el sistema de drenaje. Es importante inspeccionar si existen más fuentes de aportación de agua para el talud, tales como: fugas de tanques, cisternas, redes de drenaje, suministros de agua, etc. No está demás considerar pruebas de permeabilidad en la zona de estudio.

- Sismicidad. En zonas sísmicas este aspecto debe ser considerado. Por ejemplo en la Ciudad de México, se debe recurrir a las disposiciones reglamentarias vigentes para definir los coeficientes sísmicos de diseño correspondientes.

## **7.2. Aspectos teóricos del análisis y diseño de los sistemas de anclaje.**

Los análisis que se efectúan para el diseño de los sistemas de anclaje, deben hacer referencia a los modos de falla a los cuales estará expuesto la obra. La finalidad es que la estructura sea segura ante las fallas potenciales que se puedan presentar, además de que esto propiciará que el proyecto sea realizable dentro de las restricciones económicas y operativas que por lo común se presentan en obras de este tipo.

## **7.3. Modos de falla de un ancla.**

Dependerán en gran parte del sistema de anclaje que se utilice y del medio circundante al sistema. De manera general y tomando como ejemplo una tablestaca anclada, se pueden presentar tres tipos de fallas:

Fallas locales por resistencia al corte en el suelo.

- *Falla rotacional del elemento de retención hacia la excavación antes de instalar el ancla.* La falta de planeación en la excavación puede provocar que la profundidad del corte sea mayor que la mínima

necesaria para conservar su estabilidad. Cuando la excavación se deja abierta sin ningún sistema de refuerzo, puede provocar que una redistribución de presiones de poro provoquen desestabilizaciones en la excavación.

- *Falla en la masa de suelo.* Ocurre cuando se aplican fuerzas excesivas al ancla, como las provocadas por deslizamiento.
- *Falla por extracción del bulbo.* Cuando se excede la resistencia friccionante entre el bulbo y el suelo circundante, es común que se presente este tipo de falla.
- *Falla rotacional del elemento de retención por falta de resistencia pasiva en el suelo, frente al empotramiento.* En una tablestaca para evitar este tipo de falla, es importante que en la revisión del sistema se considere un factor de seguridad para que las deformaciones del suelo se mantengan dentro de límites aceptables.
- *Falla por falta de capacidad de carga en la base del elemento de retención.* Se debe considerar la resultante de los empujes actuando en el extremo inferior del elemento de retención; a su vez el extremo inferior debe estar apoyado sobre un material resistente.

a) Mecanismos de falla general.

- *Falla generalizada por volteo.* Para evitar este tipo de falla se deben considerar en el análisis y diseño todas las fuerzas que actúan sobre el elemento de retención.
- *Falla generalizada por deslizamiento.* Se realizan análisis en los que también intervengan todas las fuerzas actuantes en la base de la estructura de retención, además de que se conozca la resistencia del suelo.
- *Falla generalizada rotacional.* También se realizan los análisis necesarios de la estabilidad global del sistema.

#### b) Fallas estructurales.

- *Falla de adherencia entre el tendón y el mortero de inyección.* Aparece cuando hay desplazamientos relativos entre el acero y el mortero inyectado en el bulbo. Básicamente son tres factores los que intervienen: adherencia, fricción y la trabazón mecánica. De principio se pierde la adherencia entre el mortero y el acero, debido a que se requiere una deformación muy pequeña para que esto suceda, de esta manera se moviliza la fricción entre ancla y el mortero. La trabazón mecánica impide que ocurran deslizamientos relativos debido a la rugosidad que existe con la superficie potencial de deslizamiento.
- *Falla por tensión en el ancla o tendón.* Ocurre cuando se excede la capacidad estructural del tendón. Usualmente se recomienda que la carga de diseño final a largo plazo no exceda el 60 % de la resistencia nominal mínima. Para condiciones de carga temporal, estas cargas pueden ser del 80 % de la resistencia nominal.
- *Falla por flexión en la tablestaca.* Este tipo de falla se debe a problemas estructurales y depende de la distribución de presiones que se plantee en el análisis de interacción suelo-estructura.

#### 7.4. Generalidades en el análisis y diseño de un sistema de anclaje.

En el diseño de un sistema de anclaje, deben obtenerse valores realistas de las fuerzas actuantes dentro del conjunto. Todos los elementos que se deben diseñar deberán contar con un factor de seguridad adecuado que garantice la estabilidad global de la excavación, talud o corte ver esquema 1. Algunos elementos se mencionan a continuación:

##### a) Diseño geotécnico:

- *Análisis de estabilidad.* Se propone un factor de seguridad para el talud sin considerar el anclaje, usualmente mayor de 1.5 en taludes temporales y de 2 en taludes permanentes, luego en base en la geometría y condiciones estratigráficas se propone un número de niveles de anclaje. Finalmente, la capacidad del ancla se determina dividiendo la fuerza total de anclaje necesaria entre el número de

niveles y a su vez entre la separación existente entre cada ancla. De esta manera se obtiene la capacidad requerida por cada ancla. Comúnmente se utiliza el método de cuñas para determinar la carga externa requerida para mantener el equilibrio de la excavación o corte, y por tanto determinar la fuerza de anclaje necesaria para alcanzar un factor de seguridad adecuado.

- *Empujes sobre elementos de retención.* La fuerza de anclaje necesaria se determina a partir de “diagramas de empuje semiempíricos”, los cuales dependen del tipo de suelo y de la permanencia del corte para excavaciones verticales. La magnitud y distribución de los empujes de tierra sobre este tipo de excavaciones, depende tanto de las características geométricas y propiedades estructurales del muro, como de las propiedades mecánicas del material retenido.
- *Longitud de bulbo inyectado.* Se debe garantizar que las fuerzas de fricción de contacto entre el bulbo y el medio circundante sean las requeridas, sabiendo que dichas fuerzas dependen de la presión del mortero inyectado.
- *Posición del bulbo inyectado respecto a la superficie de falla horizontal.* Se debe garantizar que las fuerzas que proporcionan las anclas sean aplicadas fuera de la masa que potencialmente podría deslizarse. Para esto se debe realizar un análisis de la estabilidad global del talud. La longitud total del ancla y su inclinación dependen de su posición respecto a la superficie de falla.

Los factores que determinarán la longitud del bulbo son:

- ❖ Posición y geometría de la superficie potencial de deslizamiento.
- ❖ Magnitud de la fuerza de anclaje.
- ❖ Presión de inyección.
- ❖ Resistencia al esfuerzo cortante en el contacto entre el barreno inyectado y el medio circundante.
- ❖ Diámetro del barreno.

Lo anterior se verá afectado por las técnicas de perforación e inyección, además de los mecanismos de transferencia de cargas. La longitud del bulbo debe ser la suficiente para generar y transmitir la fuerza de anclaje al medio circundante con un factor de seguridad adecuado.

- *Estabilidad de las zapatas de apoyo.* Se deberá verificar que la capacidad de carga de la cara del talud sea suficiente para soportar la presión transmitida por el ancla.
- *Apoyo del elemento de retención.* Es de gran importancia verificar la capacidad de carga en el desplante del elemento de retención (si es el caso de un muro Milán), con el fin de evitar penetraciones en el estrato de apoyo. Es importante mencionar que el empotramiento contribuye a la estabilidad del sistema movilizándolo un empuje pasivo. La distribución de los empujes de tierra es cambiante durante la construcción. Otros factores, como la secuencia constructiva, los tiempos de excavación, los lapsos entre la aplicación de las fuerzas de anclaje, relajación de esfuerzos (producida por las deformaciones diferidas conocida como “creep”), modifican a largo plazo las distribuciones de esfuerzos.

b) Diseño estructural:

- *Barras cables o torones de acero.* Para estos elementos se determinará la sección y el número en función del acero requerido, además que se deben diseñar considerando que soportarán la totalidad de las fuerzas de tensión. Esta fuerza se reparte entre el área de la sección transversal total del conjunto de barras, cables o torones.
- *Morteros con los cuales se rellena el barreno.* Se debe garantizar que la adherencia entre ancla y mortero sea la adecuada. El diseño de la mezcla deberá ser capaz de provocar que las fuerzas de fricción entre las paredes del bulbo y el medio circundante sean las requeridas. Además, la lechada debe ser bombeable, es decir poseer una fluidez tal, que le permita circular a través de un sistema de bombeo para formar el bulbo requerido dentro del barreno.

- *Zapatas de apoyo.* Se garantizará que las zapatas de apoyo resistan las reacciones a compresión, a las cuales serán sometidas por las fuerzas de tensión que transmite el ancla. Éstas se diseñan como zapatas convencionales; sus dimensiones se determinan en función de la magnitud de las fuerzas de anclaje, la capacidad de carga del terreno, así como de los esfuerzos cortantes inducidos en las secciones críticas, mismas que determinan el espesor de la zapata y las características de las placas de reacción para las anclas.
- *Estructuras para la distribución de cargas;* En ocasiones es necesario colocar una retícula de trabes de concreto reforzado, que servirá como refuerzo para que la cara del talud expuesta pueda transmitir mejor las cargas que se distribuyen por efecto de las anclas.
- *Estructura de retención según se requiera.* Para el caso de suelos es común colocar una capa de concreto lanzado a manera de diafragma, capaz de soportar el empuje para transmitirlo a las anclas. La unión estructural se hace mediante zapatas o placas de apoyo.

c) Protección contra el intemperismo:

- *Revestimiento de concreto lanzado.* La acción del intemperismo es un factor que ocasiona daños a las estructuras. De esta manera, algunos taludes se protegen con concreto lanzado, que además evitará caídos del material superficial. Se monitoreará que la capa de protección no se agriete por cambios de temperatura y humedad.
- *Capa vegetal.* Se requiere utilizar en algunos taludes, básicamente para evitar la erosión y la penetración de la humedad en el cuerpo del talud.
- *Sistemas de drenaje.* La presencia de agua dentro de una masa de suelo o roca siempre actúa en detrimento de la estabilidad del talud y en la mayoría de los casos es indispensable un sistema de drenaje para obtener un buen comportamiento. Así la condición más crítica se presenta a largo plazo debido a la redistribución de la humedad. Para que un sistema de drenaje sea efectivo, debe interceptar líneas

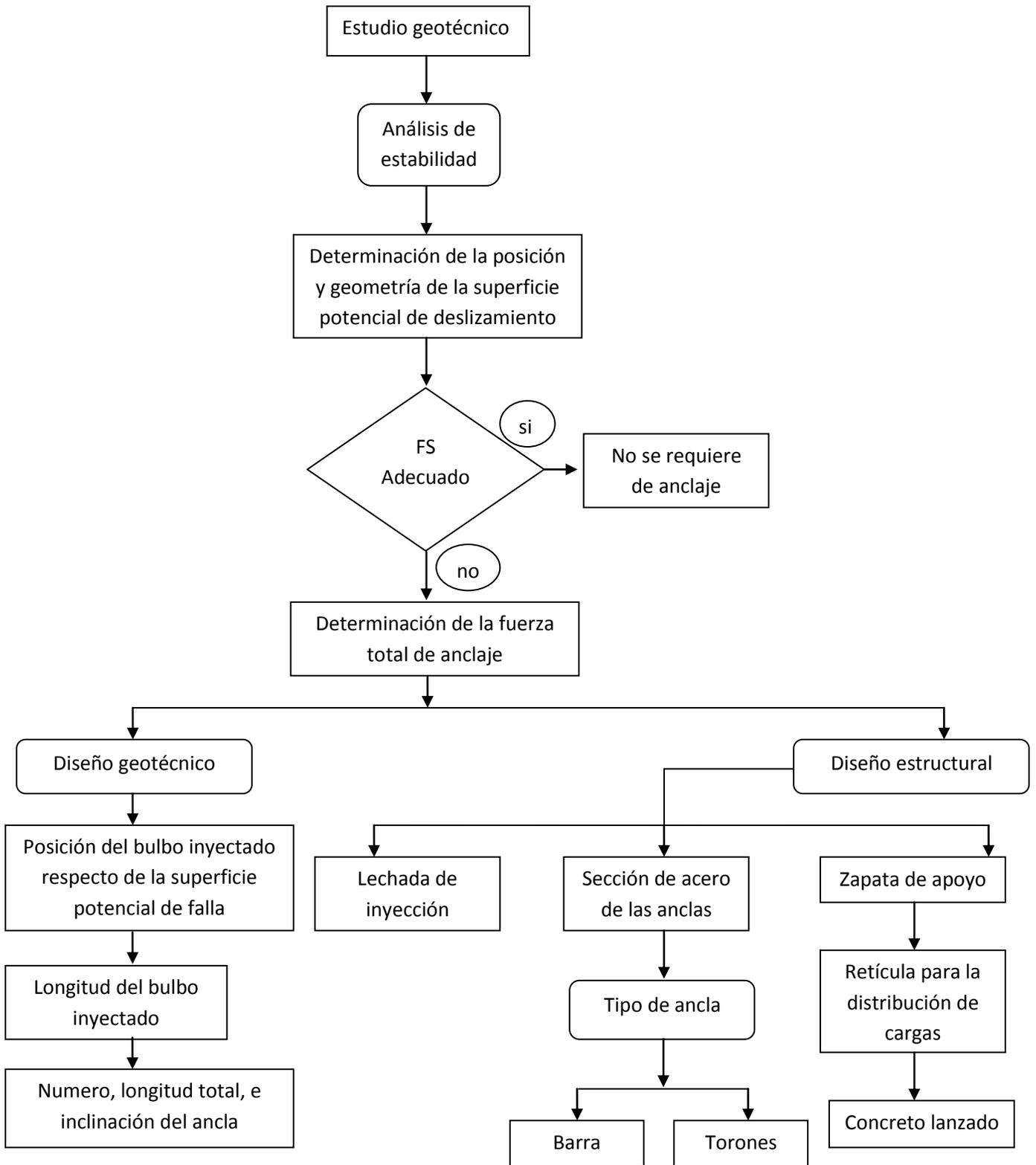
de flujo, por lo cual se requerirá conocer las condiciones hidráulicas en el talud. Una opción en excavaciones, es instalar sistemas de bombeo temporales para desalojar el agua existente dentro de la masa de suelo o roca, según sea el caso, algunos de estos sistemas pueden ser:

- ❖ Drenes verticales
- ❖ Zanjas horizontales
- ❖ Lloraderos
- ❖ Drenes hincados
- ❖ Galerías drenantes

d) Anclas de prueba:

- *Prototipos.* Se realizan anclas prototipo cuando la implementación de un sistema de anclas genere incertidumbre en respuesta a las solicitudes previstas. También se realizan estos prototipos cuando se prevé un gran número de anclas, además de que estos permitirán proyectar las técnicas de construcción más adecuadas y que posiblemente se empleen. Estos prototipos por lo general darán una idea del comportamiento del ancla, en condiciones de trabajo e incluso hasta la falla.

Esquema 1. Secuencia de análisis y diseño para un sistema de anclaje:



## **7.5. Aspectos a considerar para estimar la capacidad de un ancla.**

Otro de los factores importantes a considerar al realizar un análisis de estabilidad, es conocer la magnitud y distribución de los empujes de tierra, que actuarán sobre los elementos de retención. Las magnitudes dependerán de las características geométricas y propiedades estructurales de los elementos de retención, así como de las propiedades mecánicas del material retenido. Otros aspectos preponderantes son los procedimientos constructivos empleados, las condiciones de drenaje que se presenten, factores ambientales, incluso los sismos modifican los empujes.

La capacidad de las anclas dependerá de las propiedades del medio en el cual se instalan. Para determinar dichas propiedades se requerirá de un cuidadoso programa de exploración geotécnica acompañado de ensayos de laboratorio, como se ha mencionado. Su finalidad, es determinar las propiedades en la interfaz entre el tendón circundante y el bulbo inyectado. Un aspecto importante a considerar, es que la perforación muchas veces altera las propiedades del suelo circundante y por ello en ocasiones no es posible conocer con suficiente precisión lo que sucede en dicho suelo; de ahí la importancia de estos estudios y ensayos de laboratorio.

Por otro lado y como ejemplo, en una obra en la cual se implemente un sistema de anclaje, una vez pasado el proceso de trabajo hasta la etapa de tensado del ancla, comienzan a operar mecanismos de transferencia de cargas entre las interfaces del torón-bulbo-suelo. Se sabe que la distribución de fuerzas a lo largo del bulbo no es uniforme y por ello, se optan por factores de seguridad adecuados que satisfagan dichas condiciones. Las pruebas de carga tienen un papel importante para determinar la capacidad en un ancla, de ahí que éstas generarán la confiabilidad y reducirán la incertidumbre tanto en el proyectista como en el constructor.

## **8. ALGUNAS OBRAS EN LA CIUDAD DE MÉXICO QUE HAN EMPLEADO ANCLAS POSTENSADAS**

### 8.1. Anclas postensadas y muro de concreto lanzado para estabilizar una excavación de 54.5 m. (figura 16).

Construcción de complejo de oficinas y comercios ubicado en la calle de Pedregal no. 24 en la col. Molino del Rey en la Ciudad de México, integrado por 2 torres con Planta baja y 27 niveles, que tendrán un pódium compartido de 17 pisos para estacionamiento en sótanos; la profundidad de excavación alcanzará 54 m. El predio se ubica en zona de lomas y de acuerdo al sondeo realizado a 80 m de profundidad, se encontraron arcillas, arenas y limos. La perforación para las anclas tiene un diámetro de 15 cm, El espacio anular entre la perforación y el acero de refuerzo se rellenó con una lechada de cemento-agua dosificada en peso según una relación 2:1, con una resistencia de 150 kg/cm<sup>2</sup>, que se inyectó a una presión de 15 kg/cm<sup>2</sup>. Para alcanzar rápidamente la resistencia de la lechada se utilizó un acelerante de fraguado y un estabilizador de volumen.

El diámetro del torón es de 15.24 mm (0.6 de pulgada); el total utilizado es de 16 cables por ancla. El postensado se llevó a cabo 4 días contados a partir de la inyección, certificando la resistencia mediante pruebas de resistencia. El muro de concreto lanzado tiene una resistencia a la compresión simple de 200 kg/cm<sup>2</sup>, con un espesor mínimo de 20 cm; se reforzó con 4 mallas electro soldadas 6x6-4/4, colocadas 2 en cada extremo, con un recubrimiento de 3 cm. Las zapatas de cimentación están ligadas al muro, tienen un espesor de 40 cm y dimensiones de 1.5x1.5 m.

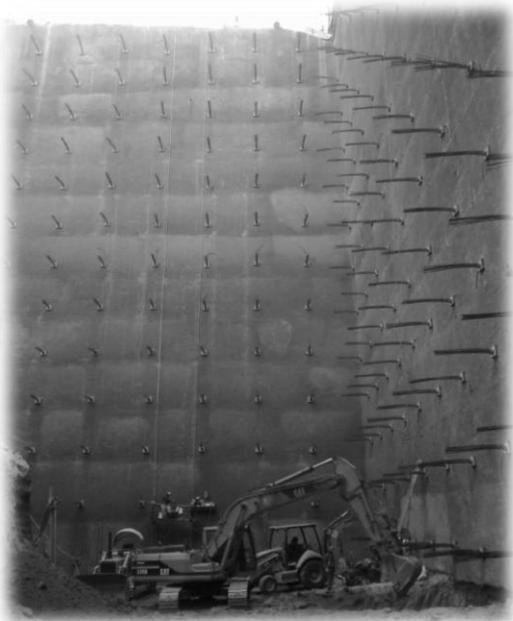


Figura 16. Anclas postensadas y muro de concreto lanzado.

## 8.2. Estabilización de una excavación con Muro Milán y Anclas.

Construcción de muro Milán y anclas para la estabilización de una excavación en zona de transición en la ciudad de México, en el sondeo realizado a 23.5 m de profundidad se encontraron arcillas, limos y gravas (*figura 17 y 18*). La construcción albergará 4 niveles de sótano y 8 niveles sobre la banqueta. Para garantizar la estabilidad de la excavación y sus colindancias se construyó un muro Milán de 40 cm de espesor y 21.0 m de profundidad, complementado con 3 niveles de anclas postensadas (*figura 19*).



*Figura 17. Excavación de zanja con almeja.*



*Figura 18. Excavación a nivel de proyecto.*



*Figura 19. Reservaciones sobre el muro Milán para las anclas postensadas.*

### 8.3. Anclas activas para reforzar excavación de 40 m.

Construcción de muro Milán y muro lanzado con 12 niveles de anclas activas en un predio ubicado en Insurgentes Sur y Rio Mixcoac, México DF, (*figura 20 y 21*) para la construcción de sótanos de estacionamientos de un edificio corporativo y comercial. Este se ubica en zona de transición y de acuerdo a los sondeos realizados se encontraron boleos de diferentes tamaños con grava y limos.



*Figura 20. Doce niveles de anclas activas.*



*Figura 21. Rampa de acceso a la excavación.*

## **9. PROCESO CONSTRUCTIVO DE ANCLAS DE TENSIÓN TIPO TEMPORALES Y PERMANENTES**

## 9.1. Generalidades

En este capítulo se tratarán las anclas activas temporales y permanentes de gran capacidad.

Las anclas activas se conocen comúnmente como anclas de tensión, y tienen como principal finalidad proporcionar fuerzas actuantes. De esta manera, su proyección es de sentido contrario a lo largo de la superficie de deslizamiento. Tales elementos proporcionan fuerzas externas para lograr la estabilidad de taludes o excavaciones. Las anclas comienzan a realizar su función de anclaje cuando se les aplican fuerzas axiales mediante dispositivos especiales, por lo que es común llamarlos elementos activos de refuerzo.

A su vez, como ya se mencionó, las anclas con funcionamiento activo pueden ser de dos tipos según su vida útil: temporales y permanentes. Las temporales son utilizadas para estabilizar cortes verticales en excavaciones que después se cierran o que se sostienen con otras estructuras. Este tipo de anclaje ofrece en las excavaciones para la construcción de cimentaciones de edificios menos deformabilidad que otros sistemas de refuerzo. La vida útil de estas anclas es de algunos meses o hasta 2 años, pero su utilización casi siempre es superior a los 18 meses.

Las anclas permanentes se verán sujetas a mantenimiento, siendo recomendable proteger los elementos degradables como el acero y los morteros de inyección. Es necesario tomar las provisiones adecuadas para además ajustar las cargas de tensión (*figura 22 y 23*).



*Figura 22. Muro Milán y anclas para una excavación.*



*Figura 23. Ejemplo de ancla temporal.*

Las anclas activas de gran capacidad son sometidas a carga previamente a la aplicación de las acciones, para limitar las deformaciones de la estructura. La armadura o refuerzo habitual son cables de acero para pretensado.

En la figura 24 se muestra un esquema de la sección de un ancla activa típica con este sistema:

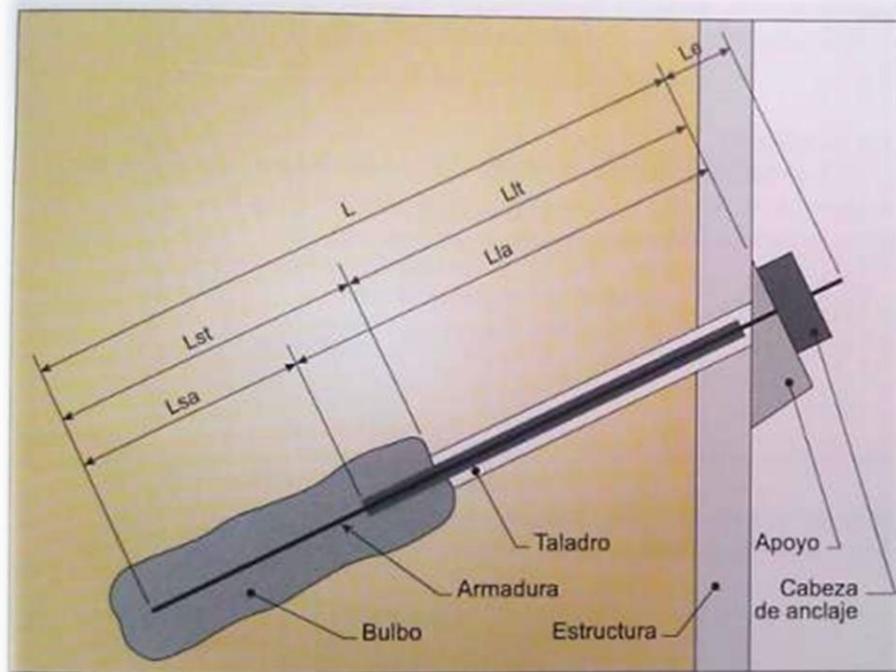


Figura 24. Donde:

$L$ = Longitud total del anclaje

$L_{st}$ = Longitud de bulbo

$L_{lt}$ = Longitud Libre

$L_{sa}$ = Longitud sellada de la armadura

$L_{la}$ = Longitud libre de la armadura

$L_e$ = Sobrelongitud exterior

En el esquema se muestra una cabeza de anclaje que transmite las fuerzas de tensión de la armadura a la estructura, que es necesario anclar a través de un sistema de apoyo, una parte libre que es la longitud de la armadura comprendida entre la cabeza del anclaje y el inicio del bulbo, un bulbo que es la longitud de armadura sobre la cual la fuerza de tensión se transmite al terreno circundante a través de la lechada.

Dentro del proceso constructivo de este tipo de anclas se debe plantear la necesidad de cubrir todos los aspectos que se generen dentro del proceso de trabajo, llámese andamios, malacates, mesas de trabajo, etc., así como la adecuada planeación para los movimientos del equipo entre los puntos de perforación. Aunado a esto, es importante también establecer las condiciones de seguridad adecuadas para todo el personal. También considerar que los trabajos preliminares tales como la instalación de drenes, ubicación y colocación de puntos de control topográfico, ubicación de puntos de anclaje, son importantes y darán la pauta para comenzar los trabajos (*figura 25*). El proceso constructivo de un ancla activa, sea temporal o permanente, consta de las siguientes fases:

1. Fabricación
2. Perforación
3. Equipamiento
4. Inyección
5. Tensado
6. Protección



*Figura 25. Ejemplo de avance en un sistema de anclas activas para una excavación.*

## 9.2. Fabricación.

Consiste en el proceso en el que se fabrican los tirantes o tendones de acuerdo con materiales y procedimientos indicados por el proyecto para el tipo de ancla (temporal o permanente).

En anclas temporales y permanentes se utiliza lo siguiente:

Materiales (*figura 26 a 32*).

- Tubería de PVC 1 ½ “ de diámetro y tapones
- Poliducto PAD (Polietileno de alta densidad) el diámetro del poliducto varía de tamaño de acuerdo al número de torones que se utilicen en el anclaje.
- Cable torón de 15 mm
- Tubo “manguito” de neopreno.
- Flejes y fichas metálicas.
- Capuchón metálico.
- Cinta de aislar y cinta gris.
- Alambre recocido.
- Espuma expansiva de poliuretano.
- Separadores de plástico.
- Mangueras plásticas (para anclas permanentes).
- Aislante termofusionable (para anclas permanentes).

Herramientas.

- Flejadora (herramienta para sujetar con firmeza los torones con la ayuda de flejes y fichas)
- Segueta.
- Taladro.
- Amarrador.
- Retenedor metálico.

Mano de obra.

- Jefe de fabricación.
- De 3 a 4 ayudantes.

Equipo o maquinaria:

- Cortadora para metales.
- Pistola de aire caliente (para anclas permanentes).

Las siguientes figuras ilustran algunos materiales y herramientas:



*Figura 26. Bobina de cable torón de 15 mm.*



*Figura 27. Poliducto de PAD.*



*Figura 28. Capuchón fabricado en obra.*

Los torones irán unidos a capuchones cónicos cuyo diámetro dependerá de la sección de anclaje. Las puntas deben estar libres de óxido, lo cual se logra limpiándolas y puliéndolas si es posible con esmeril. Su función es permitir la instalación del cuerpo del ancla en el terreno, garantizando que el torón esté libre de partículas de suelo previamente a la inyección de morteros.



*Figura 29. Cinta de aislar y punta cónica hecha en fábrica.*



*Figura 30. Espuma expansiva.*



*Figura 31. Flejadora*



*Figura 32. Tubo de PVC con manguito y cinta de aislar.*

En ocasiones es necesario construir una plataforma de trabajo para fabricar los tirantes o tendones. La razón principal, se debe a que en excavaciones ancladas puede existir poco espacio para realizar esas labores, las plataformas están hechas a base de rejilla IRVING (figura 33) y generalmente se empotran sobre la trabe de coronamiento que se construye sobre el muro Milán teniendo como apoyo vigas de acero que se sostienen con placas metálicas ancladas al muro (figura 34).



*Figura 33. Rejilla IRVING.*



*Figura 34. Vista general de la plataforma de trabajo.*

### **9.2.1. Procedimiento de fabricación para anclas temporales.**

Se corta el cable torón (*figura 35*) con una cortadora eléctrica para metales a una medida requerida y se extiende el mismo para comenzar con las labores de fabricación, considerando las siguientes longitudes:

- Longitud de bulbo.
- Longitud libre.
- Longitud de tensado.



*Figura 35. Contenedor de bobina para corte de cable torón de 15 mm con cortadora para metales.*

Los conjuntos de cortes se realizan con discos cortadores. Es importante verificar que se realicen únicamente con esta herramienta, ya que son las que lo hacen con mayor detalle y seguridad para el trabajador. Otro aspecto importante a considerar es que los torones deben estar limpios, libres de óxido; ésta limpieza por lo general se hace con cepillos de alambre.



*Figura 36. Ejemplo de la instalación del tubo manguito sobre el PVC.*

El armado se realiza de la siguiente manera:

Primero se cortan los manguitos y se colocan con cinta de aislar a una distancia indicada por el proyecto. Previamente se perfora el tubo de PVC, (*figura 36*) con la finalidad de que en un futuro estos orificios sirvan para suministrar lechada al bulbo del tirante. Este tubo de inyección pasa por el centro de los torones atravesando los separadores, (*figura 37 y 38*) cabe señalar que este tubo de inyección llega hasta el fondo del bulbo a pocos centímetros de la punta cónica o capuchón del ancla.



*Figura 37. Colocación de separadores de plástico.*

Una vez listo el tubo de PVC con el tubo manguito y cortado a la longitud indicada, se procede a colocar separadores entre dos manguitos para colocar sobre ellos los cables torones requeridos. Estos separadores le dan rigidez al tirante o tendón. Las distancias que existen entre ellos están preestablecidas por diseño. Es importante que este trabajo se realice sobre una superficie plana, en este caso una mesa de trabajo como la que se muestra en la imagen. La mesa de trabajo será tan larga como el tendón o tirante lo requiera y contará con marcas o espaciamientos que indicarán medidas de diseño y además servirán como una guía en la fabricación de las anclas.



*Figura 38. Vista de separador instalado.*

Después se realiza un amarre sobre el tirante con alambre recocido entre separadores plásticos, con el fin de lograr la retención del cable torón a los separadores plásticos y al tubo de PVC (*figura 39*).



*Figura 39. Amarre con alambre recocido.*

A continuación se realiza la colocación del Poliducto PAD en la longitud de bulbo (figura 40). Éste se introduce con la ayuda de un cargador frontal jalándolo con una cuerda gruesa hacia el tirante o tendón.



*Figura 40. Entrada de tirante armado dentro de poliducto PAD.*

Finalmente se procede a la colocación de flejes metálicos, espuma selladora de poliuretano (para sellar la parte libre del bulbo) y retenedores metálicos llamados “perros”; dichos elementos servirán para ajustar todos los componentes del ancla (figura 41, 42 y 43). Finalmente se coloca cinta gris gruesa como protección en la parte libre, además de una etiqueta de identificación con el fin de llevar un control del número de anclas fabricadas con su respectiva ubicación.



*Figura 41. Colocación de flejes.*



*Figura 42. Colocación de espuma selladora para evitar la entrada de lechada a la parte libre del ancla.*



*Figura 43. Instalación de retenedores metálicos previo a la colocación del tirante dentro del barreno con el fin de sostener el tirante una vez dentro del barreno.*

### **9.2.2. Procedimiento de fabricación para anclas permanentes.**

Primero se realiza el corte del cable torón a las medidas requeridas para comenzar con las labores de fabricación (*figura 44*). Esta actividad es similar a la de las anclas temporales, ya que de igual manera los cortes se realizan con el equipo necesario y en una mesa de trabajo como la mencionada anteriormente, además de considerar en los cortes las longitudes que se indiquen para estas partes del ancla:

- Longitud de bulbo.
- Longitud libre.
- Longitud de tensado.



*Figura 44. Corte de cable torón en Mesa de trabajo.*



*Figura 45. Colocación de aislante termofusible a base de calor.*

Seguidamente se engrasa el cable torón y se forran dichos torones con mangueras plásticas. Se debe garantizar una película de grasa para proteger los cables. Una vez hecho esto se coloca el aislante termofusible a base de aplicación de calor con una pistola de aire caliente (*figura 45 y 46*). La finalidad de éste aislante es sellar la parte libre del ancla para evitar la entrada de lechada.



*Figura 46. Aislante termofusionable.*

De igual manera que en las anclas temporales, en las definitivas también se colocan separadores de plástico, se realiza el flejado del tirante con la herramienta ya mencionada y se coloca la punta cónica, para finalmente colocar la etiqueta de identificación del ancla terminada (*figura 47, 48 y 49*).



*Figura 47. Colocación de separadores de plástico.*



*Figura 48. Colocación de flejes a lo largo del cuerpo del ancla.*



*Figura 49. Colocación de punta cónica metálica hecha en obra o punta de cónica comprada.*

### 9.3. Perforación.

Para los trabajos de perforación, la selección de la maquina dependerá del tipo de material y de las condiciones locales de la obra. Para excavaciones que empleen muro Milán, se deberán dejar preparaciones en el muro para perforar (*figura 50 y 51*).



*Figura 50. Colocación de preparaciones para la perforación del barreno antes del colado del muro Milán.*

Con el fin de equipar el ancla, dichas preparaciones se preestablecen en el proyecto y vienen dadas con base en el espaciamiento, resultado del análisis y diseño del sistema de anclaje.



*Figura 51. Preparación sobre muro Milán.*

La perforación se realiza con un equipo hidráulico guiado y auto corregible, equipado con sensores de inclinación que permiten conocer y corregir las desviaciones de aquella. La estabilización de las paredes de perforación puede lograrse con ademe o con lodos bentoníticos o poliméricos. Para este tipo de anclas, la perforación se efectúa con brocas de diferentes tipos y diámetros de acuerdo al terreno y sección del barreno, además del espacio que ocupe el cuerpo del tirante y el diámetro del bulbo del anclaje. Esto se realiza con una máquina y ademe o fluido de perforación adecuados al terreno. Es importante tomar en cuenta antes, durante y después de la perforación, la inclinación con respecto a la horizontal que se le dará al anclaje.

Para estas labores se utiliza lo siguiente:

Mano de obra:

- Perforista.
- Uno a dos ayudantes dependiendo del equipo a emplear

Herramientas:

- Barras de perforación y tubo ademe.

a) Barras de perforación de 89 mm de diámetro (*figura 54 y 57*)

b) Tubo ademe de 114 mm de diámetro

- Brocas de 5" a 8" de diámetro.

a) Tricónica.



*Figura 52. Broca tricónica 5 7/8" instalada en barra de perforación.*

c) Cola de pescado (*figura 56*)

d) Martillo de fondo.

Uno de los equipos empleados es la Perforadora SOILMEC SM-18 (*figura 53 y 55*) que tiene las siguientes características:

1. Posee un sistema de control sensible a la carga, hidráulico, que funciona con el flujo de las bombas de pistones gemelos (500 L de aceite/min) y que generan la velocidad en los movimientos de perforación.
2. Tiene control remoto de cada una las funciones para definir la mejor posición de trabajo.
3. Peso: 19 toneladas.
4. Potencia nominal del motor: 176 Kw.



*Figura 53. Perforadora SOILMEC SM-18.*



*Figura 54. Barras empleadas para la perforación.*



*Figura 55. Maquinaria perforadora SOILMEC SM-18 realizando trabajos de perforación en un muro Milán.*

Los métodos de perforación se eligen de acuerdo al terreno y las condiciones del lugar. Estos pueden ser con un solo movimiento o con la combinación de dos de ellos. A continuación se mencionan algunos de los más empleados.

- Rotatorio
- Percusivo
- Rotatorio – percusivo



*Figura 56. Perforación rotatoria con broca cola de pescado*



*Figura 57. Empleo de barras para dar continuidad a la perforación*

En la perforación se emplean fluidos para estabilizar las paredes perforadas, los que pueden ser:

- Agua
- Aire
- Agua - aire
- Espuma

Es importante mencionar que antes y durante la perforación deben verificarse las desviaciones que pudieran presentarse. Esta labor se realiza con el posicionamiento de la maquinaria, barras y taladros antes y durante la perforación.

#### **9.4. Equipamiento.**

Procedimiento que tiene como finalidad adecuar la preparación que alojara al ancla. En general los trabajos realizados en esta etapa son el envainado de la perforación y la introducción del tirante en el barreno. Esta labor se realiza mediante la transportación del tirante a la boca del barreno o perforación y se inserta manualmente o con la ayuda de alguna maquinaria que empuje e introduzca el tirante. Es importante que este procedimiento se lleve a cabo cuidadosamente, evitando en todo momento daños a los componentes del tirante fabricado así. Para garantizar lo anterior es necesario que el barreno antes de que se introduzca el tirante esté limpio y seco y evitar cualquier tipo de interferencia al momento de su inserción. Para adecuar las condiciones del barreno antes de la inserción del tirante, una vez comprobada la perforación, se sustituye el fluido de perforación por un producto de sellado, generalmente una lechada de cemento dosificada llamada en obra “envainado”.

El envainado tiene como finalidad:

- a) Proteger a los cables contra la corrosión.
- b) Asegurar la adherencia entre los cables.
- c) Impedir la vibración de los cables adherentes sometidos a sollicitaciones dinámicas.

Tanto en anclas temporales como en permanentes, el procedimiento de instalación del tirante es el mismo, el cual puede realizarse:

- a) Con grúa.
- b) Con quipo desenrollador.
- c) Manualmente cuando son tirantes de una gran longitud.

Los insumos utilizados son los siguientes:

Materiales:

Lechada compuesta de:

- Cemento.
- Agua.
- Aditivo Rheobuild (reductor de agua).

Mano de obra:

- Personal necesario para el envainado y la introducción del ancla.

Herramienta:

- Manguera con obturador para envainado.

Equipo o maquinaria:

- Central de lechada PH 2×5.

Para anclas temporales se puede optar por el envainado por gravedad. Se verifica que el envainado se ha ejecutado correctamente. Cuando se observe que la lechada está saliendo por la boca del barreno, indicará que es prudente introducir el ancla. (*figura 58*).



*Figuras 58. Para anclas permanentes también es común utilizar este procedimiento de envainado por gravedad.*



*Figuras 59. La carga e introducción del tirante en el barreno para el caso de anclas que posean gran longitud, se lleva a cabo de manera manual.*

De acuerdo a las recomendaciones dadas por el PTI, la instalación debe hacerse conforme a los planos, detalles y recomendaciones del especialista. Se debe tener cuidado de no dañar la protección, verificar la limpieza del barreno, además de tomar las debidas precauciones para evitar la corrosión del ancla, como se ha dicho (*figura 59 y 60*).



*Figuras 60. Ancla dentro del barreno.*

### **9.5. Inyección.**

Antes de realizar la inyección del bulbo, es necesario inflar el obturador (en el caso de anclas permanentes) y garantizar que se realice el sellado entre el bulbo y la longitud libre del ancla.

La inyección permite impermeabilizar y consolidar la longitud de bulbo rellenando los vacíos con lechada a base de cemento-agua-aditivo (Rheobuild) y proporciona volumen y una fuerza de tracción que se transmite al terreno circundante a través de la longitud de la armadura (bulbo). Los diversos métodos están en función de los terrenos y del nivel de mejora de la capacidad de anclaje deseado. De manera general, se introduce mortero a una dosificación establecida, controlando la inyección con un manómetro supervisado por un técnico que registra la presión de inyección. La presión empleada estará de acuerdo al tipo de material circundante al bulbo, ya que se sabe que esta presión varía de acuerdo a la zonificación e influye directamente en la capacidad del ancla.

Los insumos para realizar esta labor son los siguientes:

Materiales:

- Cemento.
- Agua (además de la lechada también para el lavado de la tubería y el obturador).
- Aditivo Rheobuild (reductor de agua para producir concreto reo plástico).
- Grasa de litio para facilitar el deslizamiento de la tubería por el tubo de PVC instalado a lo largo de la sección media del ancla.

Mano de obra:

- Jefe de inyección.
- 2 ayudantes.
- Operador para la central de inyección.
- Técnico de obra (para la verificación y conteo de golpes por la presión de inyección que se registra en el manómetro).

Herramienta:

- Llaves steelson para aflojar y apretar los tramos de tubería de inyección
- Tubería de inyección, obturadores metálicos e inflables.

Equipo o maquinaria (*figura 61*).

- Manómetro
- Central de inyección PH 2×5
- Mezclador AC-2 o AC-83

Se fabrica la lechada (agua-cemento-aditivo) en la central de inyección con el agitador y las indicaciones de la dosificación, requeridas por el proyecto.



*Figuras 61. Central de inyección PH 2x5 con agitador y mezclador AC-2*

Equipos para la fabricación, mezcla y medición de la presión de inyección de lechada (figura 62 y 63).



Figura 62. Central de lechada mezclador AC-83.



Figura 63. Banco con manómetro para tomar la presión de inyección.

A continuación se instalan las tuberías y obturadores necesarios para realizar el primer avance en la inyección, además de las conexiones necesarias para ligar las tuberías con el manómetro y la central de inyección (*figura 64 y 65*). A continuación se muestran los obturadores utilizados de acuerdo al tipo de ancla:



*Figura 64. Tubería y obturador (ancla temporal).*



*Figura 65. Obturador inflable (ancla permanente).*

Se deben utilizar métodos y sistemas de inyección en función de los terrenos y del nivel de mejora deseado de la capacidad del anclaje. Para estas anclas se utilizan tubos manguito adheridos al tubo de PVC, que al ser sometidos a la presión de inyección se rompen dándole cuerpo a la longitud del bulbo y así proporcionar las características de mejora requeridas (figura 66).

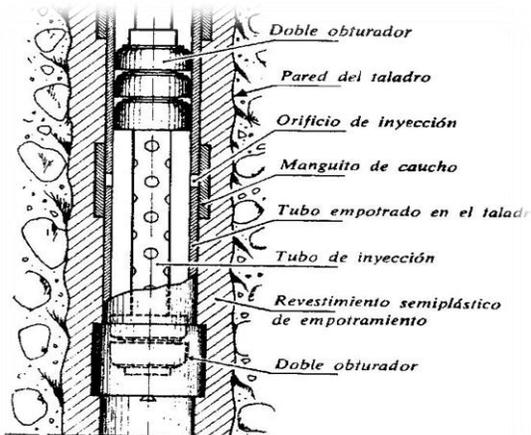


Figura 66. Equipo para inyección con tubos manguito.

Para un ancla permanente se debe verificar que la presión mínima en el manómetro sea de  $5.1 \text{ kg/cm}^2$ . Este es el procedimiento más común que existe, aunque la normatividad empleada (TA 95) distingue dos métodos de inyección.

El método empleado para este tipo de anclas es repetitivo y secuencial (ISR), ya que consiste en inyectar lechada, verificar la presión y volumen ejercida por la central de inyección y el manómetro respectivamente, repitiendo el mismo proceso hasta terminar con el volumen requerido de lechada para el bulbo. Además, se verifican y registran las “bachas” utilizadas por cada inyección, con el fin de llevar el control del volumen total empleado por cada inyección hecha. Se deben verificar de acuerdo a los requerimientos de la norma TA-95 (1997) los volúmenes y presiones según los métodos conocidos:

- IRS = Inyección Repetitiva Selectiva
- IGU = Inyección Global Unitaria

Es importante mantener las tuberías y obturadores limpios, ya que al momento de su montaje y desmontar, fácilmente se contaminan. Una vez utilizados, se deben lavar con agua, la cual debe estar libre de cualquier sustancia o materia que pueda obstruir el paso de la lechada; además se deben almacenar para su futura disposición.

## **9.6. Tensado.**

Una forma de estimar la capacidad de un ancla es mediante pruebas de carga en el campo. Estas pruebas deben preverse desde la etapa de proyecto. Durante una prueba de carga es importante no exceder el esfuerzo de fluencia del acero en los torones.

Antes de describir la finalidad de este proceso, es importante aclarar que según el tipo de terreno y el producto de sellado utilizado, debe respetarse un plazo de 2 a 5 días entre la última fase de inyección y el tensado del anclaje, con el fin de que la lechada logre alcanzar la resistencia necesaria. Es importante mencionar que de acuerdo al tipo de cemento y al empleo de aditivos, estos tiempos pueden variar. También se debe prever la colocación de las placas de apoyo o silletas metálicas. La fabricación de las silletas se lleva a cabo paralelamente al tensado, siempre llevando ventaja en la fabricación de dichas silletas con el fin de no retrasar el proceso de trabajo (*figura 67*).

El tensado es un proceso técnico que consiste en una serie de pruebas, ensayos y un bloqueo realizados al tirante ya instalado e inyectado dentro del barreno, con el fin de dar al ancla la capacidad de tensión para la cual fue diseñada, además de contrarrestar los empujes provocados por la masa del suelo de la excavación y proporcionar un sistema de refuerzo activo que trabaja en conjunto con el muro Milán estructural.

Para este tipo de anclas se aplica un proceso en el cual al tirante instalado se le aplica una prueba y un bloqueo; este proceso se describe más adelante.

Existen pruebas o ensayos que se aplican a las anclas antes o incluso después de que ya están tensadas, con la finalidad de verificar ciertas características que se describen de manera general en lo que sigue.

- a) Pruebas de carga simple. La finalidad de estas pruebas es verificar la capacidad del ancla. Su principal ventaja es la rapidez y la economía. En este tipo de pruebas las cargas se aplican de manera incremental hasta

llegar a la carga de diseño P. Esta prueba es una de las más utilizadas en México, incrementando incluso hasta un 20% y 30% de la carga de diseño P. Generalmente las mediciones se realizan con micrómetros, sostenidos por un marco de referencia fijo; también se utilizan bombas eléctricas con manómetros integrados y gatos hidráulicos, de esta manera los resultados obtenidos se plasman en gráficas para generar los reportes correspondientes.

- b) Por otro lado, existe la prueba de extracción, que lleva a la falla al anclaje con el fin de verificar el modo en que se presenta y registra la carga correspondiente. La finalidad es corroborar que el tipo de falla corresponda a la prevista en el diseño.
- c) Pruebas de funcionamiento. Como su nombre lo indica, estas pruebas se realizan para verificar el funcionamiento del anclaje, como son los siguientes aspectos: si la capacidad del ancla es la requerida, si se estableció la longitud libre de diseño adecuada, y conocer la deformación además de la deformación residual del ancla. De igual manera, en esta prueba se puede determinar si existen defectos en el torón y en el bulbo inyectado. En estas pruebas las cargas se aplican por incrementos cargando y descargando el ancla. Los desplazamientos del tendón se miden respecto a una referencia fija. Como en las pruebas de carga, estas se miden con un manómetro y un gato con bomba de suministro de presión, calibrados en conjunto. El operador debe verificar que los incrementos de carga se apliquen en tiempos relativamente cortos, y vigilara que dicha carga se mantenga constante en cada incremento que se le aplique. Como en las pruebas de deformación diferida, también se aplican ciclos de carga-descarga siguiendo una secuencia fija de incrementos de la carga de diseño, y regresando siempre entre cada ciclo a la carga de asiento. Al terminar el último ciclo, la fuerza se regresa a la carga de trabajo de diseño y se fija el ancla, lo que se conoce como bloqueo del ancla. Los datos de la prueba, dados en unidades de fuerza y deformaciones se grafican para formar las curvas correspondientes.
- d) Pruebas de deformación diferida. Este tipo de pruebas se utiliza para verificar la capacidad de las anclas instaladas en rocas de mala calidad y en suelos plásticos susceptibles a sufrir deformaciones diferidas. Se utiliza el mismo equipo de medición que en las pruebas de funcionamiento. Al igual que el mismo ciclo de carga-descarga. Se obtienen gráficas de deformación diferida contra tiempo.

- e) Criterios de aceptación. El ingeniero de obra juzgará, de acuerdo a ciertas condiciones establecidas, si las medidas de las deformaciones son aceptables o no, considerando la longitud libre aparente que se determina al juzgar las elongaciones. Este criterio aplicará para las pruebas de carga simple y de funcionamiento, además de considerar ciertos criterios de porcentaje definidos por el proyecto. Para el caso de la prueba de deformación diferida en una ancla temporal, se aplica el criterio de que la deformación durante el último ciclo de aplicación de carga, no debe exceder 2 mm, para que dicha deformación se considere aceptable.
- f) Medidas correctivas. Una de las finalidades de estas pruebas es verificar si el ancla soportará la carga de diseño. En caso de que no sea así, se deberá revisar el diseño y reducir la carga, además de aumentar el número de anclas.

Para las anclas que se describirán, se distinguen tres categorías de ensayos:

- Ensayos de ruptura. Estos se realizan para determinar la resistencia última del terreno o en el caso de realizar ensayos de algún nuevo tipo de anclaje.
- Ensayos de control. Son no destructivos, por lo tanto los anclajes sometidos pueden ser parte del sistema de anclaje definitivo en la obra. Los objetivos de estos ensayos son confirmar las características obtenidas durante las pruebas de ruptura, así como determinar el valor de la tracción crítica de fluencia cuando no se realiza una prueba de ruptura. Como mínimo se deben realizar tres ensayos de este tipo por obra.
- Ensayos de recepción. Cada tirante ya pretensado debe ser sometido a un ensayo de recepción. Los objetivos de este ensayo son: demostrar que el anclaje puede soportar una tensión de prueba dada, asegurarse de que la tensión de bloqueo se sitúa al nivel de la tensión de bloqueo teórica.



*Figura 67. Anclas tensadas.*

Los insumos para estos trabajos son los siguientes:

Materiales (*figura 69, 70 y 71*).

- Silletas metálicas (placas de apoyo).
- Grasa de litio (para engrasar cuñas de arrastre).
- Aceite líquido (para engrasar cuñas de bloqueo).
- Cuñas de bloqueo.
- Cinta gris.
- Marcador para identificar el número y nivel de ancla terminada.
- Queso para torones.

Mano de obra:

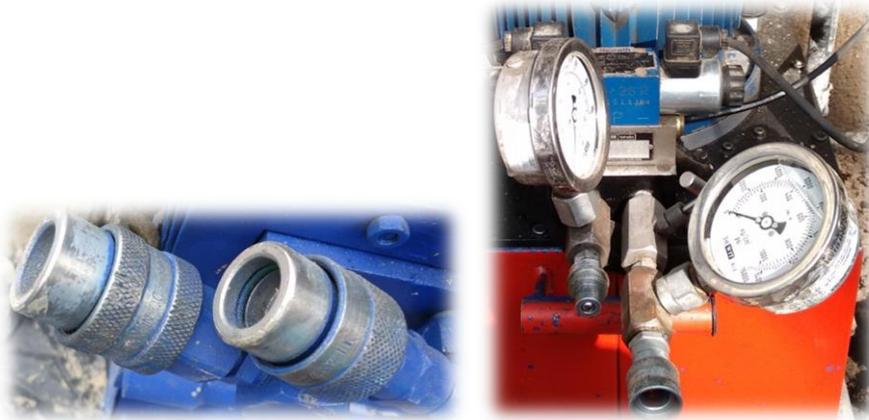
- Técnico de tensado.
- Ayudante.
- Operador de maquinaria (para izaje y montaje de gato hidráulico).

Herramienta:

- Block de arrastre.
- Cuñas de arrastre.
- Tubo metálico hueco (sirve para fijar las cuñas a los quesos).
- Regla milimétrica digital horizontal.
- Herramientas menores.
- Tubos metálicos (sirven para guiar los torones en el caso de las anclas que posean muchos cables para su inserción dentro de los orificios del gato).

Equipo y maquinaria (*figura 68*).

- Gato hidráulico para tensado multitorón.
- Bomba hidráulica, trabaja a presión de aceite vía mangueras con conexiones “push-pull” hacia el gato hidráulico (*figura 41*).



*Figuras 68.* Conexiones hembra-macho push pull en bomba y manómetros.

Algunos materiales utilizados:



*Figuras 69.* Quesos con capacidad para 15 y 9 torones.



*Figuras 70. Colocación y soldado de silleta.*



*Figura 71. Silleta con inclinación de 15°.*

### 9.6.1. Generalidades sobre la aplicación de tensión a un ancla (temporal o permanente).

En general se utiliza un gato hidráulico que se apoya sobre la placa y el queso de apoyo se sujeta a la parte exterior del ancla. De esta manera se permite aplicar controladamente la fuerza de tensión requerida. Como se mencionó anteriormente, antes de iniciar este proceso se debe tomar en cuenta que según el tipo de terreno y el producto de sellado utilizado (lechada de inyección), debe respetarse un plazo de 2 a 5 días entre la última fase de inyección y el tensado del anclaje, el promedio en obra son 4 días.

### 9.6.2. Trabajos previos antes de la prueba de tensión.

Primeramente se debe adecuar el tirante en el espacio reservado, colocando y fijando silletas y quesos (elementos metálicos que sirven para dar cuerpo de apoyo en el proceso de tensado) (*figura 72*). Es importante mencionar que los orificios del queso dependerán del número de torones empleados en los tirantes, en nuestro ejemplo se muestran tirantes de 15, 13 y 10 torones, además de que no se introducen las cuñas debido a que todavía no se bloqueará el ancla.



*Figura 72. Silletas y quesos ya instalados.*

Una vez finalizado lo anterior, se puede empezar con el montaje. Aquí se procede a introducir los torones en los orificios del gato hidráulico, esta operación se realiza con la ayuda de maquinaria para cargar el gato, izándolo y sujetándolo con

grilletes y estrobos. Es muy importante verificar que el gato quede alineado con el queso.

Una vez que el gato hidráulico está montado y alineado, se procede a introducir en los torones sobresalientes el block de arrastre. El block servirá como retenedor de los torones sobresalientes. A continuación se introducen cuñas metálicas de arrastre y se fijan adecuadamente al block, además de aplicar una pequeña carga que alineará y fijará todos los elementos. En esta fase termina el proceso de montaje (figura 73 y 74).



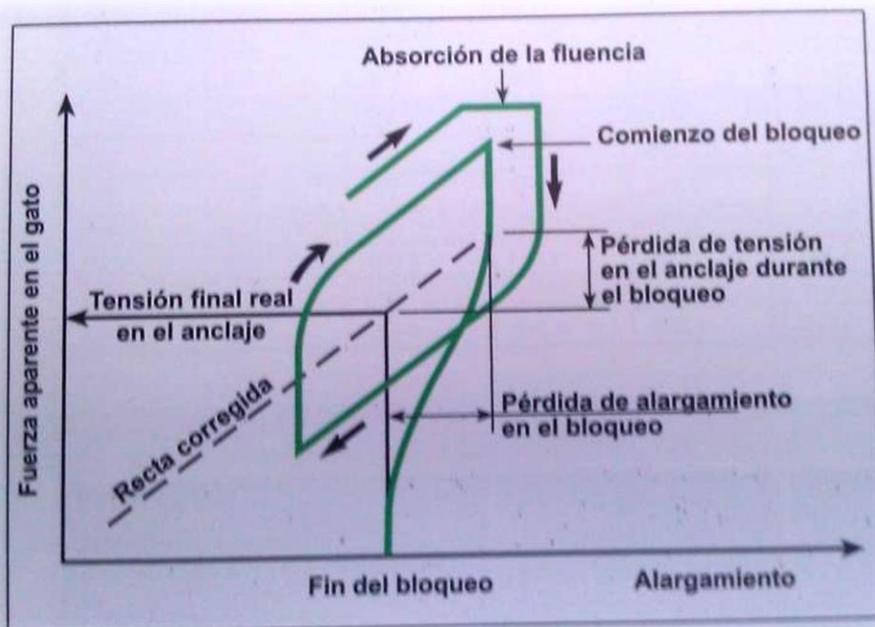
*Figura 73. Montaje de gato con capacidad para 15 torones.*



*Figura 74. Montaje de gato con capacidad para 10 torones*

Para estas anclas se realizan pruebas de carga y de recepción, el ciclo empleado típicamente es el que se describe a continuación (ver *figura 41*):

- Un aumento de la presión (3 ó 4 niveles).
- Descenso de la presión (1 nivel).
- Una descompresión con deformación (2 a 3 niveles).
- Un nuevo aumento sin deformación (1 nivel).
- Un nuevo aumento con deformación hasta la presión de bloqueo (2 a 3 niveles).
- Se miden las deformaciones residuales.



*Figura 75. Gráfica típica al emplear el ciclo de prueba.*

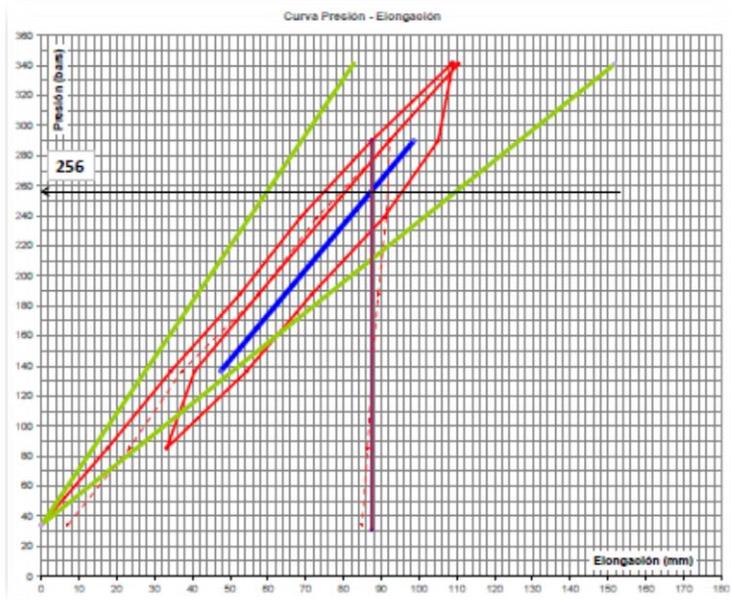
### 9.6.3. Aplicación de tensión

Este proceso se divide en dos partes: prueba (en la cual se realiza la prueba de tiempo) y bloqueo. A grandes rasgos, en la prueba, una vez montado el gato se aplican las cargas a las cuales por diseño será sometida el ancla (*figura 76*).

Las cargas que se aplican son graduales e incrementales y se aplican aproximadamente en un intervalo de 20 ó 30 segundos entre cada carga. Se toma la lectura de deformación con una regla milimétrica digital. Este dato se mide en la saliente del pistón en milímetros. La información obtenida debe graficarse y verificar que se cumplan los ciclos de carga y descarga establecidos para el tipo de ancla que se esté tensando. Es importante mencionar que la prueba de carga sigue el patrón de carga-descarga-recarga, en tanto la prueba de bloque es carga-descarga.



*Figura 76. Ancla durante la prueba.*



*Figura 77. Grafica representativa empleada para registrar las deformaciones y presiones.*

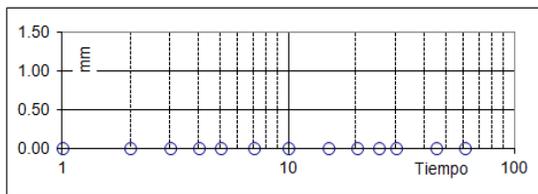
En la figura 77 las líneas verdes encasillan la longitud aparente máxima y mínima que el cable puede deformarse durante la puesta en tensión, la línea roja sigue el patrón de carga descarga recarga que se emplea en la prueba de recepción o aceptación del ancla, la línea roja punteada representa la carga y descarga del bloque del ancla, las líneas azules y moradas representan elementos de apoyo para calcular la carga de bloqueo del ancla.



*Figura 78. Regla digital milimétrica empleada para medir la saliente del pistón (deformaciones); en algunos casos y para mayo precision se usa una base magnetica como apoyo.*

#### 9.6.4. Prueba de tiempo:

La finalidad de la prueba de tiempo es verificar la fluencia del torón en lapsos de tiempo. Como se muestra en la tabla, se realizan mediciones en lapsos de tiempo que van desde 1 minuto hasta 1 hora. Es importante mencionar que muy pocas veces se llegará a 1 hora debido a que la mayoría de los torones cumplen satisfactoriamente los 15 primeros minutos de la prueba (*figura 79*). La siguiente gráfica es la empleada para registrar las deformaciones en la prueba de tiempo, además de enunciar un ejemplo de las condiciones de tolerancia para un cierto tipo de ancla.



Tiempo	1	2	3	4	5	7	10	15	20	25	30	45	60
Medidas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$\Delta L$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Fluencia maxima							$\Delta L_{15} - \Delta L_3$		<	1.5		mm
si no :	Fluencia maxima							$\Delta L_{60} - \Delta L_{15}$		<	1.5		mm

*Figura 79. Registros para graficar y anotar las deformaciones en la prueba de tiempo.*

Según las recomendaciones TA-95, el lapso de tiempo en el que se tomarán las medidas dependerá del tipo de suelo que se haya encontrado en la perforación, se tendrán suelos fluentes como las arcillas y no fluentes como las arenas. En las arcillas la prueba puede durar desde media hora hasta una hora cuando no cumple el primer criterio de fluencia; en contraparte, en suelos como las arenas el tiempo de prueba son solo 15 minutos.

En casos extraordinarios, cuando cualquier ancla temporal o permanente no cumpla los criterios en los tiempos máximos, se optará por detener los trabajos y esperar la notificación de un especialista.

Una vez pasado el tiempo de prueba y verificando los criterios de aceptación según Norma NF EN 1537:2013 que son:

- Fluencia
- Alcanzar la carga de prueba

Se concluye que el ancla es aceptable y tendrá un comportamiento adecuado durante su vida útil.

### 9.6.5. Proceso de bloqueo:

Después del proceso de carga, se procede a desmontar el gato hidráulico, el block de arrastre y las cuñas de arrastre. En esta fase debe tenerse la precaución de que ningún hilo o alambre que constituya el torón haya sufrido algún daño, ya que esto implicará una reducción pequeña más no despreciable en la capacidad del anclaje. Posteriormente, se procede a introducir las cuñas de bloqueo en los torones y el queso. Estas cuñas servirán de manera definitiva para bloquear el anclaje y dar la fuerza de tensión requerida, además de proporcionar estanqueidad y soporte al ancla. Enseguida se procede a montar nuevamente el gato y sus componentes. Finalmente, se realiza la prueba de bloqueo, que consiste en proporcionar carga de manera gradual e incremental al tirante, hasta llegar a la carga de bloqueo requerida por el ancla (*figura 80*).

Para determinar la carga de bloqueo es necesario conocer la presión de bloqueo, el factor de conversión de bars a kg/cm<sup>2</sup> y el área del pistón del gato hidráulico. De esta manera se obtiene la carga en t con la cual el ancla ha sido bloqueada.

Es importante mencionar que para cada tipo de ancla se emplearan criterios de cargas permisibles tales como la carga de prueba, carga de servicio y carga de bloqueo; las cargas obedecerán a una tolerancia y los valores admisibles para cada tipo de ancla dependerán de las características mecánicas del torón.



*Figura 80. Prueba de bloqueo.*

El proceso de tensado finaliza con el desmonte del gato y sus componentes, finalmente se identifica y marca el ancla tensada con su número correspondiente y en el nivel de excavación que se ubica, con el fin de llevar un control sobre el tren de trabajo. Los registros de campo procesan en gabinete y se agrupan en la memoria de cálculo; en estos datos se generan gráficas y datos técnicos del ancla tensada que se entregarán al cliente al término del trabajo (*figura 81*).

Es importante realizar la prueba de aceptación al ancla antes de ser bloqueada, con el fin de verificar que el ancla tendrá un buen comportamiento durante su vida útil. El conocimiento teórico y práctico del proceso de tensado permite al ingeniero de obra conocer más afondo el elemento de estudio, además de conocer y adquirir la habilidad de interpretar las graficas que se generan de la prueba y desarrollar un criterio adecuado en la toma de decisiones.



*Figura 81. Ancla terminada.*

## 9.7. Protección.

Todo sistema de anclaje debe protegerse contra la corrosión cuando esté expuesto a acciones ambientales o contaminantes. La calidad y extensión de las medidas contra la corrosión, deben basarse en la permanencia o temporalidad de las anclas, en la naturaleza del medio ambiente y en las consecuencias de una falla del sistema de anclaje (*figura 86*).

Como tareas de prevención, se debe verificar la tensión del elemento ya que es muy importante para este tipo de anclajes activos, además de revisar las partes exteriores. La protección no comienza después del tensado, ya que durante la fabricación e instalación es necesario monitorear los almacenajes y la exposición a la que se sometan las armaduras de torones principalmente. También se debe minimizar el tiempo en que el tirante o ancla permanezca dentro del barreno antes de la inyección, con la finalidad de evitar una exposición más prolongada al medio circundante, además del cuidado contra los daños físicos.

Para conocer la agresividad del medio circundante, es importante realizar una serie de pruebas que permitan detectar la presencia de agentes corrosivos; pruebas como el potencial de hidrógeno (pH), la existencia de sulfatos, cloruros y sulfitos además de la resistividad del entorno circundante al ancla.

Una de las partes vulnerables de un ancla ya instalada es la cabeza o parte exterior. Su protección se realiza después de la validación del tensado. Este tipo de protección está en función de dos criterios principales, que son la vida útil del anclaje y la agresividad del entorno. Para las partes internas del ancla también se deben considerar ciertas recomendaciones de protección, a continuación se mencionan algunas:

- a) Cabeza del anclaje. La protección se incluye en las placas de apoyo, queso de los torones, además de verificar y ajustar la carga de las anclas, también se deben emplear capuchones retacados con grasa anticorrosiva para su protección.
- b) Longitud libre (para anclas temporales). Si el ancla es sometida a un medio agresivo, la longitud libre será protegida con lechada secundaria de inyección como se menciona más adelante.
- c) Longitud libre y zona de transición (para el caso del tirante permanente). Las mangueras plásticas que recubren al torón y las fundas protectoras

termofusionables, son componentes esenciales en la protección de esta interfaz. Aquí se aplica grasa anticorrosiva entre el tendón y la funda.

- d) Longitud de bulbo y longitud sellada (para el caso del tirante permanente). Ya que los morteros y lechadas son los materiales principales que cubrirán la armadura de torones de la corrosión, es importante supervisar que la inyección se lleve a cabo de la parte final del bulbo hasta el obturador y la parte libre, para garantizar que envuelvan al acero.

A las anclas temporales se les proporciona una protección que se denomina como primaria (P) y para anclas permanentes una protección secundaria (S); existe una protección intermedia entre las anteriores. Los niveles de protección de un ancla temporal o permanente se muestran a continuación:

Tabla 1. Niveles de protección según las recomendaciones TA 95 y la Norma NF EN 1537.

Reglas usuales TA 95				NF EN 1537	
Vida útil del ancla				Anclajes provisionales de menos de 2 años	Anclas permanentes de más de 2 años
Entorno	Menos de 9 meses	De 9 a 18 meses	Más de 18 meses		
No agresivo	P	I	S	La protección de base es similar a la primaria (P)	La protección de base es similar a la protección secundaria (S) pero con un revestimiento mínimo de terreno envoltura o tubo metálico de 20 mm
Medianamente Agresivo	I	S	S		
Agresivo	S	S	S		

Donde:

P=Protección primaria

I= Protección Intermedia

S= Protección secundaria

De esta manera, la protección contra la corrosión puede ser:

a) Ancla temporal con protección primaria (P):

- En la cabeza del anclaje se requiere de un revestimiento anticorrosivo; esto aplica para entornos y ambientes no agresivos.
- En el tramo de longitud libre, las armaduras están protegidas por una vaina con los extremos obturados, la vaina debe permitir la libre deformación de la armadura durante el tensado.
- En la longitud del bulbo, las armaduras deben tener un recubrimiento de 10 mm como mínimo en relación con la pared de la perforación.

b) Ancla permanente con protección secundaria (S):

- Para la cabeza de anclaje es necesario instalar un capuchón, que va conectado a la placa de apoyo; así la cubierta se llena con un producto anticorrosivo.
- En estas anclas existe una zona de transición donde se conecta un tubo trompeta a la parte libre y se llena con un producto anticorrosivo.
- En la longitud libre se coloca una envoltura flexible llena de grasa que rodea cada armadura, así como un tubo común lleno con una lechada de cemento densa.

- La longitud sellada se protege con un tubo manguito de acero cuyo espesor mínimo sea de 3 mm, lleno de una lechada densa de cemento, también se inyecta una lechada a una presión mínima de 0.5 Mpa (5.098 kg/cm<sup>2</sup>) entre el tubo y el terreno, el recubrimiento dentro del tubo debe ser de 5 mm como mínimo.

La protección intermedia (I) en la longitud sellada no está protegida, a diferencia de la protección secundaria (S).

Para las anclas permanentes en la obra, se emplean las siguientes recomendaciones.

Materiales:

Existe una gran variedad de materiales que solos o combinados, pueden utilizarse para prevenir la corrosión. A continuación se enlistan algunos de ellos:

- Lechadas de cemento-agua (*figura 82 y 83*)
- Tubos o ductos de materiales plásticos o de PVC
- Grasas para elementos de acero postensado (*figura 84*)
- Resinas epóxicas o poliéster

Mano de obra:

- Personal necesario y capacitado para realizar las labores de protección.

Herramienta:

- La necesaria para la correcta ejecución de los trabajos.

Mano de obra y equipo:

- Central de lechada en caso de requerir protección entre el bulbo y la longitud libre.



*Figura 82. Se fabrica la lechada para la parte libre del ancla para los trabajos de protección en anclas permanentes.*



*Figura 83. Inyección de lechada.*



*Figura 84. Grasa de litio empleada para proteger la cabeza del anclaje*

La inyección secundaria utiliza un mortero de menor calidad y resistencia que la inyección primaria o principal. Su finalidad es proteger la longitud libre ocupando el espacio entre esta longitud libre y las paredes del barreno. Se introduce por gravedad después del tensado. El objetivo que se persigue al emplear grasa de litio, es prevenir la entrada de agentes agresivos; este material debe ser estable mientras dure la vida útil del torón, además de no reaccionar a los materiales que se exponga llámense aceros, lechadas, mangueras plásticas, tubos PVC, etc. También es importante que sean impermeables y que inhiban la corrosión.



*Figuras 85. Capuchón y tubo trompeta empleados en la protección de anclas permanentes.*

De acuerdo a la norma TA-95 (1997) para:

- Anclas temporales, debe emplearse el tubo trompeta y un relleno anticorrosivo.
- Para anclas permanentes, el uso de la trompeta, el capuchón y su recubrimiento, un relleno anticorrosivo, y la junta de estanqueidad son recomendables (*figura 85*).

En general la protección está más dirigida a anclas permanentes, debido a la condición de vida útil que poseen.



*Figuras 86. Corrosión en ancla temporal.*

## **10. Conclusiones y recomendaciones.**

El conocimiento teórico y práctico del funcionamiento y construcción de un ancla es indispensable cuando se presentan inconvenientes en campo, por ejemplo identificar la falla estructural o geotécnica del ancla al realizar su tensado. Es un conocimiento empírico que se adquiere generalmente en obra, por inspección, en ocasiones hasta con pruebas de prototipos de laboratorio. También es importante conocer e identificar las características y comportamiento de los materiales y equipos al realizar la supervisión y control de los trabajos. Debido al carácter especializado que tiene la construcción de un sistema de anclaje, los conocimientos teóricos y prácticos de ingenieros y personal de campo y gabinete deben estar siempre en constante actualización, fin de mejorar los procesos constructivos.

Por otro lado, la implementación de un sistema de anclas activas en una excavación implica un trabajo que debe ser monitoreado diariamente. La rapidez o el retraso de la excavación que realizan las máquinas para descubrir un muro Milán estructural que contendrá y reforzará la excavación, juega un papel importante que repercute en la rapidez o el retraso del proceso de trabajo que va desde la fabricación de anclas hasta su tensado y protección.

Es común que en los trabajos de tensado y protección de las anclas, que son la parte final del proceso de trabajo, se presenten retrasos debido a factores constructivos y técnicos. Los factores que generan estos retrasos son principalmente la perforación, el equipamiento y la inyección. Por ejemplo, un tirante que por razones constructivas no se pueda inyectar o se inyecte parcialmente sin cumplir con la especificación del volumen y resistencia requerida para el bulbo, será susceptible a presentar fallas estructurales o geotécnicas cuando se le apliquen fuerzas de tensión, lo que obligará a realizar trabajos extraordinarios de reinyección y posteriormente de tensado.

También es importante mencionar que los inconvenientes constructivos y técnicos en la perforación y equipamiento, generan retrasos aunque menores. En cambio se pueden generar severos problemas en el proceso de inyección, que repercuten considerablemente en el proceso debido a que se tiene que esperar un cierto tiempo para monitorear y confirmar la resistencia de la lechada empleada en la inyección, para continuar los trabajos de tensado y protección.

Como en todo proceso constructivo, la planeación y control de los trabajos es pieza clave en la obtención de buenos rendimientos de trabajo. De esta manera los trabajos o reportes diarios que se realicen serán el reflejo de que los trabajos

se han ejecutado, dirigido y controlado en un tiempo, calidad y costo adecuados para los fines comunes del constructor y el proyecto en general.

El empleo de anclas activas como sistema de refuerzo en excavaciones, se ha intensificado debido al uso y aprovechamiento del espacio subterráneo que se ha incrementado en los últimos años.

Estos sistemas deben generar confiabilidad y garantía durante su vida útil. Cada ancla debe tener un estricto control de supervisión e inspección por parte del personal de ingeniería y operativo, desde su fabricación hasta su instalación y cuidados. La finalidad de estas acciones son garantizar la calidad ingeniería y construcción de los trabajos, además de proporcionar seguridad a la excavación y al personal que labora dentro de ella.

La correcta ejecución de los trabajos de anclaje para una excavación, repercutirá en las siguientes etapas constructivas de cualquier edificación, llámese sótanos, losas o subestructuras. Es por esta razón que la calidad y seguridad siempre deben estar presentes en cualquiera de las etapas constructivas de dichos sistemas.

## 11. Anexos.

Para complementar la información proporcionada en el capítulo construcción de anclas activas, temporales y permanentes, se anexa un presupuesto paramétrico con desglose de precios unitarios y sus respectivos auxiliares considerando el suministro y la ejecución de anclas de alta capacidad, tipo 9T15, con una longitud de 17 m y 26 m.

*Tabla 2. Presupuesto para anclas*

<b>PRESUPUESTO PARA INSTALACION DE ANCLAS</b>				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Importe</i>
Movilización de maquinaria, equipo, personal, herramientas y personal de instalación y desinstalación de equipo para la ejecución de trabajos de anclaje, se considera continuidad entre las fases.	<i>Eq</i>	1.00	\$26,000.00	\$26,000.00
Suministro y colocación de anclas de alta capacidad, L=26.00m, tipo 9T15. El precio incluye: Perforación en 6 " de diámetro, equipamiento con ancla tipo 9T15, cabeza de tensado. Equipamiento para inyección IRS de lechada de cemento de 200kg/cm2 de resistencia mínima. Tensado según el procedimiento especificado por las normas francesas Tirants d'Ancrage TA-95.	<i>Pza</i>	1.00	\$38,551.87	\$38,551.87
Suministro y colocación de anclas de alta capacidad, L=17.00m, tipo 9T15. El precio incluye: Perforación en 6 " de diámetro, equipamiento con ancla tipo 9T15, cabeza de tensado. Equipamiento para inyección IRS de lechada de cemento de 200kg/cm2 de resistencia mínima. Tensado según el procedimiento especificado por las normas francesas Tirants d'Ancrage TA-95.	<i>Pza</i>	1.00	\$27,574.23	\$27,574.23
Desmovilización de maquinaria, equipo, personal, herramientas y personal, instalación y desinstalación de equipo para la ejecución de Anclas.	<i>Eq</i>	1.00	\$26,000.00	\$26,000.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$118,126.10</b>

Tabla 3. Análisis de Precios Unitarios:

Concepto				Unidad
Movilización de maquinaria, equipo, personal, herramientas y personal para instalación y desinstalación de equipo para la ejecución de Anclas, se considera continuidad entre las fases.				Eq
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Materiales				
TRANSPORTE PLATAFORMA	viaje	4.00000	\$ 6,500.00	\$26,000.00
Suma de Materiales				\$26,000.00
Costo Directo				\$26,000.00
Indirectos				\$0.00
Indirectos de Campo				\$0.00
Subtotal				\$26,000.00
Financiamiento				\$0.00
Subtotal				\$26,000.00
Utilidad				\$0.00
Cargos Adicionales				\$0.00
<b>PRECIO UNITARIO</b>				<b>\$26,000.00</b>

Concepto				Unidad
Suministro y colocación de anclas de alta capacidad, L=26.00m, tipo 9T15. El precio incluye: Perforación en 6 " de diámetro, equipamiento con ancla tipo 9T15, cabeza de tensado. Equipamiento para inyección IRS de lechada de cemento de 200kg/cm2 de resistencia mínima. Tensado según el procedimiento especificado por las normas francesas Tirants d'Ancre TA-95.				Pza
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
<i>Auxiliares</i>				
PERFORACIÓN DE 6" DE DIÁMETRO CON INCLINACIÓN DE ACUERDO A PROYECTO, INCLUYE MATERIALES, MANO DE OBRA CALIFICADA, HERRAMIENTA Y EQUIPO.	ml	26.0	\$560.0	\$14,560.0
PROTECCIÓN DE LA CABEZA DEL ANCLA.	pza	1.0	\$647.65	\$647.65
ANCLA 9T15 A BASE DE TORONES DE ACERO DE ALTA RESISTENCIA DE FSR=19000 KG/CM2, DE 15 MM DE DIAM. INCLUYE MATERIALES, EQUIPO, HERRAMIENTA. DE 26M.	ml	26.0	\$589.05	\$15,315.3
INYECCIÓN DE LECHADA DE AGUA CEMENTO PARA ANCLAS DE GRAN CAPACIDAD, INCLUYE: ADITIVOS, PRUEBAS, MATERIALES, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y EQUIPO.	m3	0.91	\$6,844.97	\$6,228.92
TENSADO DE ANCLAS DE ALTA CAPACIDAD POR EL MÉTODO DE CICLOS, INCLUYE MATERIALES, MANO DE OBRA CALIFICADA, HERRAMIENTA Y EQUIPO.	pza	1.0	\$1,800.0	\$1,800.0
Suma de Auxiliares				\$38,551.87
Costo Directo				\$38,551.87
Indirectos				\$0.0
Indirectos de Campo				\$0.0
Subtotal				\$38,551.87
Financiamiento				\$0.0
Subtotal				\$38,551.87
Utilidad				\$0.0
Cargos Adicionales				\$0.0
<b>PRECIO UNITARIO</b>				<b>\$38,551.87</b>

Concepto				Unidad
Suministro y colocación de anclas de alta capacidad, L=17.00m, tipo 9T15. El precio incluye: Perforación en 6 " de diámetro, equipamiento con ancla tipo 9T15, cabeza de tensado. Equipamiento para inyección IRS de lechada de cemento de 200kg/cm2 de resistencia mínima. Tensado según el procedimiento especificado por las normas francesas Tirants d'Ancrage TA-95.				Pza
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
<i>Auxiliares</i>				
PERFORACIÓN DE 6" DE DIÁMETRO CON INCLINACIÓN DE ACUERDO A PROYECTO, INCLUYE MATERIALES, MANO DE OBRA CALIFICADA, HERRAMIENTA Y EQUIPO.	ml	17.00000	\$ 560.00	\$ 9,520.00
ANCLA 9T15 A BASE DE TORONES DE ACERO DE ALTA RESISTENCIA DE FSR=19000 KG/CM2, DE 15 MM DE DIAM. INCLUYE MATERIALES, EQUIPO, HERRAMIENTA. DE 17M.	ml	17.00000	\$ 678.46	\$ 11,533.82
INYECCIÓN DE LECHADA DE AGUA CEMENTO PARA ANCLAS DE GRAN CAPACIDAD, INCLUYE: ADITIVOS, PRUEBAS, MATERIALES, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y EQUIPO.	m3	0.59500	\$ 6,844.97	\$ 4,072.76
TENSADO DE ANCLAS DE ALTA CAPACIDAD POR EL MÉTODO DE CICLOS, INCLUYE MATERIALES, MANO DE OBRA CALIFICADA, HERRAMIENTA Y EQUIPO.	pza	1.00000	\$ 1,800.00	\$ 1,800.00
PROTECCIÓN DE LA CABEZA DEL ANCLA.	pza	1.00000	\$ 647.65	\$ 647.65
Suma de Auxiliares				\$ 27,574.23
Costo Directo				\$ 27,574.23
Indirectos				\$ 0.00
Indirectos de Campo				\$ 0.00
Subtotal				\$ 27,574.23
Financiamiento				\$ 0.00
Subtotal				\$ 27,574.23
Utilidad				\$ 0.00
Cargos Adicionales				\$ 0.00
<b>PRECIO UNITARIO</b>				<b>\$ 27,574.23</b>

Concepto				Unidad
Desmovilización de maquinaria, equipo, personal, herramientas y personal para instalación y desinstalación de equipo para la ejecución de Anclas.				Eq
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Materiales				
TRANSPORTE PLATAFORMA	viaje	4.00000	\$ 6,500.00	\$ 26,000.00
Suma de Materiales				\$ 26,000.00
Costo Directo				\$ 26,000.00
Indirectos				\$ 0.00
Indirectos de Campo				\$ 0.00
Subtotal				\$ 26,000.00
Financiamiento				\$ 0.00
Subtotal				\$ 26,000.00
Utilidad				\$ 0.00
Cargos Adicionales				\$ 0.00
<b>PRECIO UNITARIO</b>				<b>\$ 26,000.00</b>

Tabla 4. Desglose de auxiliares:

Concepto			Unidad	
ANCLA 9T15 A BASE DE TORONES DE ACERO DE ALTA RESISTENCIA DE FSR=19000 KG/CM2, DE 15 MM DE DIAM. INCLUYE MATERIALES, EQUIPO, HERRAMIENTA. DE 26M.			ml	
Materiales	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
BLOQUE PARA 9 Y 10 T15	pieza	0.03846	\$ 1,376.00	\$ 52.92
GRASA	kg	0.01429	\$ 35.00	\$ 0.50
TUBO DE PVC	ml	0.06200	\$ 20.70	\$ 1.28
POLIDUCTO	ml	0.06200	\$ 41.50	\$ 2.57
CENTRADOR	pieza	0.50000	\$ 7.85	\$ 3.92
FLEJE	pieza	1.00000	\$ 6.93	\$ 6.93
SEPARADOR DE 10 CABLES	pieza	1.00000	\$ 10.50	\$ 10.50
SILLA METALICA	pieza	0.03846	\$ 2,400.00	\$ 92.30
CUÑA PARA TORON 15 MM DIAM.	pieza	0.34615	\$ 48.50	\$ 16.79
PUNTA DE BALA	pieza	0.03846	\$ 133.00	\$ 5.12
SOLDADURA 7018	kg	0.02154	\$ 32.00	\$ 0.69
TORON DE ACERO FSR=19,000 KG/CM2 DE 15 MM DIAM.	kg	10.21554	\$ 18.50	\$ 188.99
BANCO DE FABRICACIÓN DE ANCLAS DE 30 M DE LONGITUD	pieza	0.00075	\$ 30,124.00	\$ 22.59
<b>Importe de Materiales</b>	<b>68.77%</b>		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 405.10</b>
<b>Mano de Obra</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>	<b>IMPORTE</b>
HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 129.75	\$ 3.89
EQUIPO SEGURIDAD	(%)mo	0.02000	\$ 129.75	\$ 2.60
AYUDANTE GENERAL	jor	0.08752	\$ 498.55	\$ 43.63
TECNICO DE ANCLAJES	jor	0.01094	\$ 1,018.78	\$ 11.15
SOLDADOR	jor	0.04373	\$ 998.67	\$ 43.67
CABO ESPECIALIDAD DE ANCLAJE	jor	0.02187	\$ 1,431.33	\$ 31.30
<b>Importe de Mano de Obra</b>	<b>23.13%</b>		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 136.24</b>
<b>Equipo</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>	<b>IMPORTE</b>
PLANTA DE SOLDAR DE 300 AMP ELECTRICA	hora	0.34968	\$ 12.35	\$ 4.32
PLANTA DE LUZ DE 150 KVA	hora	0.17490	\$ 248.03	\$ 43.38
<b>Importe de Equipo</b>	<b>8.10%</b>		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 47.70</b>
			<b>COSTO DIRECTO:</b>	<b>\$ 589.05</b>

Concepto			Unidad	
ANCLA 9T15 A BASE DE TORONES DE ACERO DE ALTA RESISTENCIA DE FSR=19000 KG/CM2, DE 15 MM DE DIAM. INCLUYE MATERIALES, EQUIPO, HERRAMIENTA. DE 17M.			ml	
Materiales	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
BLOQUE PARA 9 Y 10 T15	pieza	0.05882	\$ 1,376.00	\$ 80.94
GRASA	kg	0.01429	\$ 35.00	\$ 0.50
TUBO DE PVC	ml	0.06200	\$ 20.70	\$ 1.28
POLIDUCTO	ml	0.06200	\$ 41.50	\$ 2.57
CENTRADOR	pieza	0.50000	\$ 7.85	\$ 3.92
FLEJE	pieza	1.00000	\$ 6.93	\$ 6.93
SEPARADOR DE 10 CABLES	pieza	1.00000	\$ 10.50	\$ 10.50
SILLA METALICA	pieza	0.05882	\$ 2,400.00	\$ 141.17
CUÑA PARA TORON 15 MM DIAM.	pieza	0.52941	\$ 48.50	\$ 25.68
PUNTA DE BALA	pieza	0.05882	\$ 133.00	\$ 7.82
SOLDADURA 7018	kg	0.02154	\$ 32.00	\$ 0.69
TORON DE ACERO FSR=19,000 KG/CM2 DE 15 MM DIAM.	kg	10.21554	\$ 18.50	\$ 188.99
BANCO DE FABRICACIÓN DE ANCLAS DE 30 M DE LONGITUD	pieza	0.00075	\$ 30,124.00	\$ 22.59
<b>Importe de Materiales</b>	<b>72.75%</b>	<b>SUBTOTAL</b>		<b>\$ 493.58</b>
Mano de Obra	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 130.41	\$ 3.91
EQUIPO SEGURIDAD	(%)mo	0.02000	\$ 130.41	\$ 2.61
AYUDANTE GENERAL	jor	0.08796	\$ 498.55	\$ 43.85
TECNICO DE ANCLAJES	jor	0.01100	\$ 1,018.78	\$ 11.21
SOLDADOR	jor	0.04395	\$ 998.67	\$ 43.89
CABO ESPECIALIZADO DE ANCLAJE	jor	0.02198	\$ 1,431.33	\$ 31.46
<b>Importe de Mano de Obra</b>	<b>20.18%</b>	<b>SUBTOTAL</b>		<b>\$ 136.93</b>
Equipo	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
PLANTA DE SOLDAR DE 300 AMP ELECTRICA	hora	0.35148	\$ 12.35	\$ 4.34
PLANTA DE LUZ DE 150 KVA	hora	0.17579	\$ 248.03	\$ 43.60
<b>Importe de Equipo</b>	<b>7.07%</b>	<b>SUBTOTAL</b>		<b>\$ 47.94</b>
			<b>COSTO DIRECTO:</b>	<b>\$ 678.46</b>

Concepto			Unidad	
<b>INYECCIÓN DE LECHADA DE AGUA CEMENTO PARA ANCLAS DE GRAN CAPACIDAD, INCLUYE: ADITIVOS, PRUEBAS, MATERIALES, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y EQUIPO</b>			m3	
Materiales	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
CEMENTO NORMAL EN SACOS	ton	2.00000	\$ 1,900.00	\$ 3,800.00
ADITIVO	litro	10.25000	\$ 28.50	\$ 292.13
AGUA EN PIPA	m3	1.25000	\$ 85.00	\$ 106.25
COPE DE 2" DE DIAM	pieza	0.30000	\$ 23.50	\$ 7.05
TUBERIA NEGRA CEDULA 40 DE 2" DE DIAM	ml	0.51410	\$ 23.40	\$ 12.03
VALVULA MACHO DE 2" DE DIAMETRO	pieza	0.06000	\$ 305.00	\$ 18.30
CODO DE 2"X90°	pieza	0.36000	\$ 8.70	\$ 3.13
TEE DE 2" DE DIAMETRO	pieza	0.36000	\$ 16.80	\$ 6.05
<b>Importe de Materiales</b>	<b>62.02%</b>		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 4,244.94</b>
Mano de Obra	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
CENTRALISTA	jor	0.45299	\$ 665.24	\$ 301.35
INYECTISTA	jor	0.45299	\$ 589.98	\$ 267.26
AYUDANTE DE INYECCION	jor	0.90598	\$ 543.61	\$ 492.50
CABO ESPECIALIZADO DE ANCLAJE	jor	0.11326	\$ 1,431.33	\$ 162.11
EQUIPO SEGURIDAD	(%)mo	0.02000	\$ 1,223.22	\$ 24.46
HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 1,223.22	\$ 36.70
<b>Importe de Mano de Obra</b>	<b>18.76%</b>		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 1,284.38</b>
Equipo	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
BOMBA BARNES ELECTRICA DE 2" DE DIAMETRO	hora	3.62388	\$ 13.72	\$ 49.72
MEZCLADOR DE MORTERO AC83	hora	3.62388	\$ 49.13	\$ 178.04
PLANTA DE LUZ DE 150 KVA	hora	1.81188	\$ 248.03	\$ 449.40
TANQUE METALICO PARA DIESEL DE 5 M3 DE CAPACIDAD.	hora	0.72478	\$ 10.42	\$ 7.55
TANQUE METALICO PARA AGUA DE 10M3 DE CAPACIDAD.	hora	3.62388	\$ 25.70	\$ 93.13
BOMBA JANY PARA INYECCION DE MORTERO	hora	3.62388	\$ 109.69	\$ 397.50
TORRE DE ILUMINACION DE 4000 W	hora	1.81188	\$ 77.44	\$ 140.31
<b>Importe de Equipo</b>	<b>19.22%</b>		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 1,315.65</b>
			<b>COSTO DIRECTO:</b>	<b>\$ 6,844.97</b>

Concepto			Unidad	
PERFORACIÓN DE 6" DE DIÁMETRO CON INCLINACIÓN DE ACUERDO A PROYECTO, INCLUYE MATERIALES, MANO DE OBRA CALIFICADA, HERRAMIENTA Y EQUIPO.			ml	
Materiales	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
MANGUERA PARA AIRE DE 2"X15.00M CON CONEXIONES	pieza	0.00330	\$ 2,546.00	\$ 8.40
BROCA DE TUGSTENO DE 6" DIAM.	pieza	0.00207	\$ 14,900.00	\$ 30.84
BARRA DE PERFORACION EN 114	pieza	0.00211	\$ 5,978.00	\$ 12.61
COPE PARA BARRA 114	pieza	0.00637	\$ 987.00	\$ 6.29
ZANCO ADAPTADOR EN 114	pieza	0.00120	\$ 9,165.00	\$ 11.00
<b>Importe de Materiales</b>	<b>12.35%</b>		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 69.14</b>
Mano de Obra	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
PERFORISTA	jor	0.03604	\$ 737.75	\$ 26.59
AYUDANTE DE PERFORACION	jor	0.10813	\$ 543.61	\$ 58.78
OPERADOR EQUIPO MENOR	jor	0.03604	\$ 431.38	\$ 15.55
CABO ESPECIALIDAD DE ANCLAJE	jor	0.01803	\$ 1,431.33	\$ 25.81
HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 126.73	\$ 3.80
EQUIPO SEGURIDAD	(%)mo	0.02000	\$ 126.73	\$ 2.53
<b>Importe de Mano de Obra</b>	<b>23.76%</b>		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 133.06</b>
Equipo	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
PERFORADORA DE ANCLAS	hora	0.28833	\$ 684.22	\$ 197.28
MARTILLO NEUMATICO DE FONDO EN 6" DE DIAMETRO	hora	0.28833	\$ 110.02	\$ 31.72
COMPRESOR MOD. XA350 DE 750 PSI	hora	0.28833	\$ 369.26	\$ 106.47
TORRE DE ILUMINACION DE 4000 W	hora	0.28833	\$ 77.44	\$ 22.33
<b>Importe de Equipo</b>	<b>63.89%</b>		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 357.80</b>
			<b>COSTO DIRECTO:</b>	<b>\$ 560.00</b>

Concepto			Unidad	
PROTECCIÓN DE LA CABEZA DEL ANCLA			pza	
Materiales	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
CAPUCHA DE NEOPRENO	1	1.00000	\$ 397.00	\$ 397.00
GRASA	kg	2.00000	\$ 35.00	\$ 70.00
<b>Importe de Materiales</b>	<b>72.11%</b>		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 467.00</b>
Mano de Obra	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
TECNICO DE ANCLAJES	jor	0.10000	\$ 1,018.78	\$ 101.88
AYUDANTE GENERAL	jor	0.10000	\$ 498.55	\$ 49.86
CABO ESPECIALIDAD DE ANCLAJE	jor	0.01000	\$ 1,431.33	\$ 14.31
EQUIPO SEGURIDAD	(%)mo	0.02000	\$ 166.05	\$ 3.32
HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 166.05	\$ 4.98
ANDAMIOS	(%)mo	0.05000	\$ 125.97	\$ 6.30
<b>Importe de Mano de Obra</b>	<b>27.89%</b>		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 180.65</b>
			<b>COSTO DIRECTO:</b>	<b>\$ 647.65</b>

Concepto			Unidad	
TENSADO DE ANCLAS DE ALTA CAPACIDAD POR EL MÉTODO DE CICLOS, INCLUYE MATERIALES, MANO DE OBRA CALIFICADA, HERRAMIENTA Y EQUIPO.			pza	
<b>Mano de Obra</b>			<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
			<b>COSTO</b>	<b>IMPORTE</b>
TECNICO DE ANCLAJES			jor	0.25875
OPERADOR DE EQUIPO MAYOR			jor	0.12938
AYUDANTE GENERAL			jor	0.51749
CABO ESPECIALIDAD DE ANCLAJE			jor	0.12938
EQUIPO SEGURIDAD			(%)mo	0.02000
HERRAMIENTA MENOR			(%)mo	0.03000
ANDAMIOS			(%)mo	0.05000
<b>Importe de Mano de Obra</b>			<b>49.82%</b>	<b>SUBTOTAL</b>
				\$ 896.71
<b>Equipo</b>			<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
			<b>COSTO</b>	<b>IMPORTE</b>
GATO PARA TENSADO DE ANCLAS DE GRAN CAPACIDAD			hora	2.06991
RETROEXCAVADORA CAT 416 CIT 75 HP, 6.3 TON.			hora	1.03494
TORRE DE ILUMINACION DE 4000 W			hora	0.20699
<b>Importe de Equipo</b>			<b>50.18%</b>	<b>SUBTOTAL</b>
				\$ 903.29
			<b>COSTO DIRECTO:</b>	<b>\$ 1,800.00</b>

## 12. Lista de figuras, tablas y esquemas.

- Figura 1. Estabilización de un camino mediante anclas permanente (pág. 5).
- Figura 2. Anclas como elementos de soporte sobre muro Milán (pág. 8).
- Figura 3. Anclas como elementos que evitan los momentos de volteo (pág. 8).
- Figura 4. Anclas como elementos de soporte en túneles (pág. 9).
- Figura 5. Anclas para estabilizar y proteger un macizo rocoso (pág. 9).
- Figura 6. Protección de muros entre estaciones para continuar con tuneleo (pág. 10).
- Figura 7. Anclas como elementos de compensación de fuerzas (pág. 10).
- Figura 8. Anclas para estabilizar estructuras marinas (pág. 11).
- Figura 9. Tablestacado anclado en un muelle (pág. 11).
- Figura 10. Perfil general de un ancla activa puesta en tensión (pág. 14).
- Figura 11. Opresor metálico o fleje (pág. 15).
- Figura 12. Anclas de torones con cabeza para aplicar tensado (pág. 18).
- Figura 13. Anclas con tuerca para fijación mecánica (pág. 18).
- Figura 14. Muertos de concreto con anclas (pág. 20).
- Figura 15. Tendón hecho a base de una barra de acero (pág. 22).
- Figura 16. Anclas postensadas y muro de concreto lanzado (pág. 36).
- Figura 17. Excavación de zanja con almeja (pág. 37).
- Figura 18. Excavación a nivel de proyecto (pág. 37).
- Figura 19. Reservaciones sobre el muro Milán para las anclas postensadas (pág. 37).
- Figura 20. Doce niveles de anclas activas (pág. 38).
- Figura 21. Rampa de acceso a la excavación (pág. 38).
- Figura 22. Muro Milán y anclas para una excavación (pág. 41).
- Figura 23. Ejemplo de ancla temporal (pág. 41).
- Figura 24. se muestra un esquema de la sección de un ancla activa típica con este sistema (pág. 42).
- Figura 25. Ejemplo de avance en un sistema de anclas activas para una excavación (pág. 43).
- Figura 26. Bobina de cable torón de 15 mm (pág. 45).
- Figura 27. Poliducto de PAD (pág. 45).
- Figura 28. Capuchón fabricado en obra (pág. 45).
- Figura 29. Cinta de aislar y punta cónica hecha en fábrica (pág. 46).

Figura 30. Espuma expansiva (pág. 46).

Figura 31. Flejadora (pág. 47).

Figura 32. Tubo de PVC con manguito y cinta de aislar (pág. 47).

Figura 33. Rejilla IRVING (pág. 48).

Figura 34. Vista general de la plataforma de trabajo (pág. 48).

Figura 35. Contenedor de bobina para corte de cable torón de 15 mm con cortadora para metales (pág. 49).

Figura 36. Ejemplo de la instalación del tubo manguito sobre el PVC (pág. 49).

Figura 37. Colocación de separadores de plástico (pág. 50).

Figura 38. Vista de separador instalado (pág. 51).

Figura 39. Amarre con alambre recocido (pág. 51).

Figura 40. Entrada de tirante armado dentro de poliducto PAD (pág. 52).

Figura 41. Colocación de flejes (pág. 52).

Figura 42. Colocación de espuma selladora para evitar la entrada de lechada a la parte libre del ancla (pág. 53).

Figura 43. Instalación de retenedores metálicos previo a la colocación del tirante dentro del barreno con el fin de sostener el tirante una vez dentro del barreno (pág. 53).

Figura 44. Corte de cable torón en Mesa de trabajo (pág. 54).

Figura 45. Colocación de aislante termofucionable a base de calor (pág. 54).

Figura 46. Aislante termofusionable (pág. 55).

Figura 47. Colocación de separadores de plástico (pág. 55).

Figura 48. Colocación de flejes a lo largo del cuerpo del ancla (pág. 56).

Figura 49. Colocación de punta cónica metálica hecha en obra o punta de cónica comprada (pág. 56).

Figura 50. Colocación de preparaciones para la perforación del barreno antes del colado del muro Milán (pág. 57).

Figura 51. Preparación sobre muro Milán (pág. 57).

Figura 52. Broca tricónica 5 7/8" instalada en barra de perforación (pág. 58).

Figura 53. Perforadora SOILMEC SM-18 (pág. 59).

Figura 54. Barras empleadas para la perforación (pág. 60).

Figura 55. Maquinaria perforadora SOILMEC SM-18 realizando trabajos de perforación en un muro Milán (pág. 60).

Figura 56. Perforación rotatoria con broca cola de pescado (pág. 61).

Figura 57. Empleo de barras para dar continuidad a la perforación (pág. 61).

Figura 58. Para anclas permanentes también es común utilizar este procedimiento de envainado por gravedad (pág. 63).

Figura 59. La carga e introducción del tirante en el barreno para el caso de anclas que posean gran longitud, se lleva a cabo de manera manual (pág. 64).

Figura 60. Ancla dentro del barreno (pág. 65).

Figura 61. Central de inyección PH 2×5 con agitador y mezclador AC-2 (pág. 67).

Figura 62. Central de lechada mezclador AC-83 (pág. 68).

Figura 63. Banco con manómetro para tomar la presión de inyección (pág. 68).

Figura 64. Tubería y obturador (ancla temporal) (pág. 69).

Figura 65. Obturador inflable (ancla permanente) (pág. 69).

Figura 66. Equipo para inyección con tubos manguito (pág. 70).

Figura 67. Anclas tensadas (pág. 74).

Figura 68. Conexiones hembra-macho push pull en bomba y manómetros (pág. 75).

Figura 69. Quesos con capacidad para 15 y 9 torones (pág. 75).

Figura 70. Colocación y soldado de silleta (pág. 76).

Figura 71. Silleta con inclinación de 15° (pág. 76).

Figura 72. Silletas y quesos ya instalados (pág. 77).

Figura 73. Montaje de gato con capacidad para 15 torones (pág. 78).

Figura 74. Montaje de gato con capacidad para 10 torones (pág. 78).

Figura 75. Gráfica típica al emplear el ciclo de prueba (pág. 79).

Figura 76. Ancla durante la prueba (pág. 80).

Figura 77. Grafica representativa empleada para registrar las deformaciones y presiones (pág. 81).

Figura 78. Regla digital milimétrica empleada para medir la saliente del pistón (deformaciones); en algunos casos y para mayor precisión se usa una base magnética como apoyo (pág. 81).

Figura 79. Registros para graficar y anotar las deformaciones en la prueba de tiempo (pág. 82).

Figura 80. Prueba de bloqueo (pág. 83).

Figura 81. Ancla terminada (pág. 84).

Figura 82. Se fabrica la lechada para la parte libre del ancla para los trabajos de protección en anclas permanentes (pág. 89).

Figura 83. Inyección de lechada (pág. 89).

Figura 84. Grasa de litio empleada para proteger la cabeza del anclaje (pág. 90).

Figura 85. Capuchón y tubo trompeta empleados en la protección de anclas permanentes (pág. 90).

Figura 86. Corrosión en ancla temporal (pág. 91).

Tabla 1. Niveles de protección según las recomendaciones TA 95 y la Norma NF EN 1537 (pág. 94).

Tabla 2. Presupuesto para anclas (pág. 95).

Tabla 3. Análisis de Precios Unitarios (pág. 99).

Esquema 1. Secuencia de análisis y diseño para un sistema de anclaje (pág. 33).

### **13. Normatividad.**

La normatividad aplicable para este tipo de anclajes se sustenta en los siguientes documentos referentes a obras de carácter geotécnico y ejecución de trabajos de carácter especial como los anclajes:

- Norma NF EN 1997-1: Cálculo de las obras geotécnicas
- Norma NF P 94-282: Cálculo de las obras de contención
- Norma NF EN 1537: Ejecución de trabajos geotécnicos especiales, anclajes
- Recomendaciones TA 95: Todos los tipos de tirantes (pasivos y activos) provisionales y permanentes
- Norma NF P 94-153: Ensayo estático del tirante de anclaje
- PTI (2004): Guía para diseño, instalación y ensayo de anclas pretensadas en suelo o roca (temporales y permanentes).
- Soletanche-Bachy (1993): Panorama general del anclaje, teoría, tipos de fallas y determinación carga de bloqueo.

Para el caso que la obra se realice en la ciudad de México, se aplican los siguientes criterios de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones del Distrito Federal, tomando en cuenta los siguientes capítulos y sus desgloses principalmente:

#### 5. Análisis y diseño de excavaciones

##### 5.1 Estados límite de falla

##### 5.1.4 Estabilidad de estructuras vecinas

En caso de usar anclas temporales para el soporte de ademes, deberá demostrarse que éstas no afectarán la estabilidad ni inducirán deformaciones significativas en las cimentaciones vecinas y/o servicios públicos. El sistema estructural del ancla deberá analizarse con el objetivo de asegurar su funcionamiento como elemento de anclaje. El análisis de las anclas deberá considerar la posibilidad de falla por resistencia del elemento tensor, de la adherencia elemento tensor–lechada, de la adherencia lechada–terreno y de la capacidad de carga del terreno en el brocal del ancla. La instalación de anclas deberá realizarse con un control de calidad estricto que incluya un número suficiente de pruebas de las mismas, de acuerdo con las prácticas aceptadas al respecto. Los anclajes temporales instalados en terrenos agresivos podrán requerir una protección especial contra corrosión.

## 7. Procedimiento constructivo

### 7.2 Excavaciones

#### 7.2.5 Protección de taludes permanentes

En caso de usar anclas pasivas o activas para la estabilización del talud, deberá demostrarse que éstas no afectarán la estabilidad ni inducirán deformaciones significativas en las construcciones vecinas y/o en los servicios públicos. El sistema estructural del ancla deberá analizarse con el objetivo de asegurar su funcionamiento como elemento de anclaje. Las anclas activas deberán analizarse e instalarse tomando en cuenta lo señalado en la sección 5.1.4. Por otra parte, se tomarán las precauciones necesarias para proteger las anclas contra corrosión, con base en pruebas que permitan evaluar la agresividad del terreno, principalmente en cuanto a resistividad eléctrica, pH, cantidad de sulfuros, sulfatos y cloruros. Se prestará particular atención a la protección de los elementos que no se encuentran dentro del barreno y en especial en la zona del brocal (placas de apoyo, cuñas, tuercas, zona terminal del elemento tensor, etc.).

## **Bibliografía.**

MANUAL DE CONSTRUCCIÓN GEOTÉCNICA TOMO 1, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C. 2002.

GUÍA TECNICA, Soletanche Bachy, Edición 2012.

Sociedad Mexicana de ingeniería geotécnica, Anclas postensadas y muro de concreto lanzado para estabilizar la excavación de 54.5 m, ubicada en la calle de Pedregal No 24 en la Col. Molino del Rey, en la Ciudad de México. Alberto Cuevas, Roberto Noyola y Enrique Tamez. Publicación Noviembre 2012.

Sociedad Mexicana de ingeniería geotécnica, Procedimiento constructivo para la estabilización de una excavación con Muro Milán y Anclas en zona de transición de la Ciudad de México, Juan Manuel Cuevas, Publicación Noviembre 2012.

Foundations in Tensión "Ground Anchors", Thomas H. Hanna, Primer Edición 1982, McGraw-Hill.

Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, Luis Arnal Simón, Max Betancourt Suarez, Reimpresión 2012, Trillas.