

24  
20

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

**“ACATLAN”**



**ESTABILIDAD DE TALUDES MEDIANTE  
DISPOSITIVOS DE ANCLAJE**

**T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A :  
JOSE ARMANDO PEREZ DE ANDA**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

1988



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **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 está 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.

# I N D I C E

	página
INTRODUCCION.	4
I. ANALISIS DE TALUDES Y SITUACIONES QUE PROVOCAN SU INESTABILIDAD.	6
I.1 Generalidades.	6
I.2 Causas que provocan inestabilidad de taludes en suelos y rocas.	8
I.3 Métodos de análisis de estabilidad de taludes en suelos.	12
I.3.1 Taludes en arenas.	13
I.3.2 Método sueco aplicado a suelos cohesivos $S=C$ .	15
I.3.3 Método sueco aplicado a suelos cohesivo-friccionantes $S=C + \sigma \operatorname{tg} \phi$	15
I.3.4 Método sueco aplicado a suelos estratificados.	16
I.3.5 Método sueco aplicado a suelos cohesivo-friccionantes cuyo análisis se realiza con esfuerzos efectivos $S=C + \sigma' \operatorname{tg} \phi$	17
I.3.6 Falla traslacional.	18
I.4 Métodos de análisis de estabilidad de taludes en roca.	19
I.4.1 Método bidimensional.	22
I.4.2 Método de la cuña.	23
I.4.3 Método tridimensional.	25

I.4.4 Método de las dovelas.	25
I.4.5 Fallas por volteo.	25
II. DISPOSITIVOS DE ANCLAJE A LA FECHA DESARROLLADOS.	27
II.1 Partes integrantes del ancla.	28
II.2 Tipos de anclaje.	28
III. FUNCIONAMIENTO Y RESTRICCIONES DE LOS DISPOSITIVOS DE ANCLAJE.	38
III.1 Funcionamiento de las anclas.	39
III.2 Indicaciones generales para determinar la capacidad de las anclas.	42
III.3 Restricciones y ventajas de las anclas.	46
IV. PROCESO CONSTRUCTIVO PARA LA COLOCACION DE ANCLAS.	49
IV.1 Tecnología francesa.	49
IV.2 Tecnología americana.	54
IV.3 Tecnología mexicana.	57
IV.3.1 Especificaciones de materiales y procedimiento de colocación.	57
IV.4 Especificaciones para la colocación de anclas.	63
IV.4.1 Perforación de los barrenos.	63
IV.4.2 Anclaje con resina.	64
IV.4.3 Anclaje con mortero.	67

IV.5	La técnica de preinyectado de mortero.	68
IV.6	Errores que hay que evitar durante la colocación del anclaje.	69
IV.6.1	Perforación de los barrenos.	69
IV.6.2	Anclaje con barras.	69
IV.6.3	Colocación de placas de apoyo.	70
IV.7	Control de las anclas.	70
<b>V.</b>	<b>ELECCION DE LOS DISPOSITIVOS DE ANCLAJE.</b>	<b>72</b>
V.1	Proceso general.	72
V.1.1	Primera fase.	74
V.1.2	Segunda fase.	79
V.2	Factores que influyen en la elección del método y tipo de ancla adecuados.	83
<b>VI.</b>	<b>EVALUACION DEL EMPLEO DE LOS DISPOSITIVOS DE ANCLAJE.</b>	<b>86</b>
VI.1	Aspectos a considerar en la evaluación del empleo de una ancla.	87
<b>VII.</b>	<b>CASOS DE TALUDES ESTABILIZADOS CON ANCLAS.</b>	<b>92</b>
VII.1	Descripción	92
VII.2	Tratamiento.	93
VII.3	Cálculo y diseño del ancla.	94
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	<b>105</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA.</b>	<b>108</b>

## I N T R O D U C C I O N

Las técnicas de anclaje han tenido un desarrollo espectacular en las últimas décadas. Originalmente utilizadas en túneles, las anclas representan ahora una alternativa más en la solución de los diversos problemas de soporte que se presentan.

Uno de los campos donde la utilización de estos elementos ha logrado una buena aceptación es en los taludes, siendo éste el tema en el cual me he basado para el desarrollo de mi trabajo.

La elección del tema obedeció principalmente a mi deseo de realizar un trabajo que tuviera una aplicación práctica.

La finalidad del mismo consiste en proporcionar las bases para poder llevar a cabo un análisis y una elección adecuados de las anclas.

Es también, el procedimiento de una alternativa de solución cuando se tiene un problema de estabilidad de taludes.

En el primer capítulo de este trabajo, se muestran las causas principales que provocan inestabilidad en taludes formados por suelos y rocas, así como también diversos métodos de análisis de estabilidad de taludes para suelos y rocas.

Algunos tipos de anclas así como sus características, se presentan en el segundo capítulo.

En el tercer capítulo se describen el funcionamiento, restricciones y ventajas de las anclas, así como algunas indicaciones para determinar la capacidad de las anclas de tensión.

Los procedimientos constructivos para la colocación de anclas de algunas de las tecnologías desarrolladas en el mundo, se incluyen en este cuarto capítulo. Así también, se presentan algunas especificaciones y recomendaciones acerca del proceso constructivo.

En este quinto capítulo se presenta un procedimiento que consiste en el desarrollo de una serie de actividades cuyo fin es llegar a la elección del tipo de ancla más adecuado.

La evaluación del empleo de las anclas, es tratada en el capítulo seis. En dicha evaluación se contemplan los aspectos cuya consideración es importante debido a su repercusión en lo económico.

El último capítulo es la aplicación de los conocimientos que se manifestaron en los anteriores capítulos, ya que en éste se presenta un ejemplo real de un talud estabilizado con anclas.

# C A P I T U L O I



## 1. "ANÁLISIS DE TALUDES Y SITUACIONES QUE PROVOCAN SU INESTABILIDAD"

### 1.1 Generalidades

Se entiende como talud a toda superficie inclinada respecto a la horizontal que haya de adoptar permanentemente la estructura de tierra.

Se distinguen dos clases de taludes que son los artificiales como los cortes y terraplanes, los cuales se deben a la intervención de la mano del hombre y los taludes llamados laderas, los cuales son de carácter natural.

La esencia del problema de estabilidad de taludes radica en definir un criterio de estabilidad que nos proporcione buenos resultados desde el punto de vista técnico y económico. El criterio más apropiado es el que propone el talud más escarpado y que se sostenga el tiempo necesario, este criterio trae consigo el riesgo de una posible falla del talud, sin embargo, en el aspecto económico es muy favorable, pues como se tiene el talud muy escarpado, el movimiento de tierras a realizar es mínimo y por lo tanto el costo también. Se puede obtener un talud muy tendido, en el que el riesgo de una posible falla fuese mínimo, sin embargo, en este caso se tendrá un alto costo por la razón antes mencionada, por lo tanto se debe descartar este criterio de estabilidad, ya

que estas estructuras deben funcionar desde todos los puntos de vista, excepto el económico, pues de ser así su empleo sería incostable.

Es importante hacer notar que los problemas de estabilidad de taludes que se presentan en las laderas difieren en gran medida de los que se manifiestan en los taludes artificiales y esto se debe a varios factores entre los que se encuentran: la naturaleza del material involucrado, la historia geológica, el clima reinante durante dicha historia, el estado de esfuerzos a la que ha sido sometida la estructura, todos estos factores definen aspectos como la configuración de los suelos y rocas, o el flujo de agua subterráneo a través de los suelos, influyendo en forma determinante en la estabilidad de laderas y taludes.

Para el análisis de taludes se creó un método de análisis de los llamados límite, el cual se basa en la suposición de un mecanismo de falla cinemático de carácter empírico, mediante el cual se analizan las fuerzas tendientes a producirlo llamadas fuerzas motoras; las fuerzas que se desarrollan y cuya tendencia es evitar que el mecanismo de falla se produzca, se denominan fuerzas resistentes y se calculan en función de los parámetros de resistencia del suelo; la relación de estas dos fuerzas arroja como resultado un valor que se denomina factor de seguridad que nos indicará la condición de estabilidad del talud.

El método ha proporcionado resultados satisfactorios en la práctica, aunque no del todo en el aspecto teórico. Sin embargo, hoy en día se

Proyectan taludes de gran altura y mediante la aplicación en forma cuidadosa del método y una buena investigación de las propiedades del suelo, se reduce enormemente la posibilidad de una falla de consecuencia.

## I.2 Causas que provocan la inestabilidad de taludes en suelos y roca.

Tanto en taludes artificiales como los cortes y aquellos formados por desmontes y excavaciones, como en los taludes naturales o laderas se presenta el fenómeno de la tendencia al deslizamiento de la masa del suelo situada debajo de la superficie de estas estructuras por efecto de su propio peso, siendo este deslizamiento hacia abajo y hacia afuera. Cuando esta tendencia es contrarrestada por la resistencia al esfuerzo cortante del suelo se evita el mismo, en caso contrario ocurre la falla. Los deslizamientos ocurren en forma rápida o lenta, con o sin provocación aparente.

El deslizamiento de un talud producto de su inestabilidad, se presenta por diversas causas, las cuales se clasifican en externas e internas.

Las externas producen aumento en los esfuerzos cortantes actuantes sin modificar la resistencia al esfuerzo cortante del material. El aumento en la altura del talud, el hacerlo más escarpado, la colocación de cualquier tipo de sobrecarga en la corona del talud, la ocurrencia de sismos, son algunas causas de este tipo.

Las causas internas son las que ocurren sin cambio en las condiciones exteriores del talud. Deben ligarse siempre a la disminución de la resistencia al esfuerzo cortante del material constitutivo. El aumento de la presión de poro o la disipación de la cohesión son causas de este tipo.

A continuación se presenta una lista de los factores que causan los deslizamientos, así como el mecanismo por el cual actúan:

- La erosión y el transporte son agentes que actúan por medio de procesos constructivos o erosiones.
- Los esfuerzos tectónicos producidos por movimientos del mismo género.
- Existen también esfuerzos tectónicos producidos por el uso de explosivos.
- El mismo peso del material del talud por la forma en que fue construido éste es causante de un deslizamiento.
- El agua es en gran parte la causa de que se produzca un deslizamiento, debido a que son diversos los procesos que hacen que el agua actúe: lluvias o fusión de nieves, congelación del terreno, período de sequía, vaciado rápido, fluctuaciones en la elevación del nivel freático, ascenso del nivel freático en un acuífero distante, flujo interno de agua.

Así también es importante mencionar los procesos constructivos que más comúnmente causan problemas de estabilidad en taludes:

- Modificación de las condiciones naturales de flujo interno de agua al colocar rellenos o hacer zanjas o excavaciones.
- Sobrecarga de estratos débiles por relleno, a veces de desperdicio.
- Sobrecarga de terrenos con planos de estratificación desfavorables por relleno.
- Remoción, por corte, de algún estrato delgado de material permeable que funcionara como un manto natural drenante de estratos de arcilla suave.
- Aumento de presiones de filtración u orientación desfavorables de fuerzas de filtración al producir cambios en la dirección del flujo interno del agua, por haber practicado cortes o construido rellenos. Exposición al aire y al agua, por corte, de arcillas duras fisuradas. Remoción de capas superficiales de suelo por corte, lo que puede causar el deslizamiento de capas del mismo estrato ladera arriba sobre mantos subyacentes de suelo más duro o roca.
- Incremento de cargas hidrostáticas o niveles piezométricos bajo la superficie de un corte al cubrir la cama del mismo con una capa impermeable.

En lo referente a las causas internas a continuación se presentan los factores que más comúnmente contribuyen a disminuir la resistencia al esfuerzo cortante en taludes:

- 1.- Factores inherentes a la naturaleza de los materiales.
  - Composición.
  - Estructuración.
  - Estructuras secundarias o heredadas.
  - Estratificación desfavorable.
- 2.- Cambios por meteorización y actividad fisico-química.
  - Procesos de humedecimiento y secado.
  - Hidratación.
  - Remoción de cementantes.
- 3.- Efecto de las presiones de poro, incluyendo las debidas al flujo de agua.
- 4.- Cambios en la estructura, incluyendo fisuración por liberación de esfuerzos y degradación estructural bajo los esfuerzos cortantes previamente actuantes.

Los problemas de estabilidad de taludes en roca se deben a las discontinuidades que se presentan en estas formaciones como son fallas, juntas, estratificaciones y otras.

La inclinación de las discontinuidades que se encuentran dentro de la masa de roca, representa un factor muy importante en relación a la estabilidad del talud. Así se tiene que si las discontinuidades son verticales u horizontales, no se presenta el deslizamiento y es necesaria la presencia de fracturas de bloques de roca intacta así como movimientos a lo largo de algunas de estas discontinuidades.

La consideración de los siguientes factores es de gran importancia, ya que nos definen en un momento determinado, cuales son las causas que provocan inestabilidad en el talud, estos factores son la orientación, echado y rugosidad de la roca, así como los rellenos que se producen en juntas y fracturas, la alteración de las paredes y las condiciones hidráulicas.

### I.3 Métodos de análisis de estabilidad de taludes en suelos.

En la práctica, los cálculos de estabilidad sirven para volver a proyectar taludes que se han derrumbado, o bien para determinar antes de iniciar la obra, los ángulos del talud adecuados a los requerimientos de seguridad especificados.

Durante la construcción, suelen a veces producirse roturas locales de taludes de desmontes o de terraplén. Dichas roturas indican que el medio de la resistencia mínima al corte ha sido sobrestimado y, como constituyen en realidad ensayos de corte en gran escala, ofrecen una oportunidad excelente para valorar la resistencia mínima real, y evitar accidentes en la obra cambiando el proyecto en función de los datos. El procedimiento a seguir consiste en determinar, por medio de perforaciones o excavaciones, la posición de la superficie de deslizamiento, com-

puter los pesos de las distintas partes de la masa que tendió a producir o a oponerse al deslizamiento, y calcular la resistencia media al corte del suelo que resulta necesaria para satisfacer las condiciones de equilibrio.

A continuación se presentan los métodos de cálculo más populares:

### 1.3.1 Taludes en arenas.

Cuando se tienen taludes constituidos por arena limpia y seca se puede decir que permanecen estables sin importar su altura, siempre y cuando su ángulo de inclinación sea menor al ángulo de fricción interna de la arena.

El riesgo de falla de estos taludes se puede establecer mediante la relación:

$$F.S. = \frac{\operatorname{tg} \phi}{\operatorname{tg} \alpha}$$

donde:

$\phi$  : ángulo de fricción interna de la arena

$\alpha$  : ángulo de inclinación

En principio los taludes de arena son diseñados con un F.S. = 1, sin embargo, la arena que forma la capa superficial del talud tiende a caer



por efecto del viento y del agua provocando derrames de arena. Por la razón anterior se recomienda que el ángulo de inclinación del talud sea menor por lo menos uno o dos grados al ángulo de fricción interna con el objeto de garantizar una mejor estabilidad. Fig. I-1

#### Método sueco. Falla rotacional

El método utilizado para determinar la estabilidad de taludes es de aquellos que se encasillan dentro de los llamados límite. Se les denomina método sueco a todos los métodos de análisis enfocados en el estudio de estabilidad de taludes.

Este método supone tres hipótesis fundamentales:

- 1.- Se supone un mecanismo de falla, la forma de la superficie de falla, así como un análisis de las fuerzas motoras.
- 2.- Se adopta una ley de resistencia al esfuerzo cortante del suelo y en base a ésta se analizan las fuerzas resistentes disponibles.
- 3.- Se establece una relación entre ambas fuerzas con el objeto de ver si el mecanismo de falla propuesto se producirá.

### I.3.2 Método sueco aplicado a suelos cohesivos $S = C$

La resistencia al esfuerzo cortante de este tipo de suelos se determina mediante una prueba triaxial rápida utilizando esfuerzos totales (sin consolidación y sin drenaje). Este método es factible utilizarlo tanto para fallas por el pie del talud, como para fallas de base.

En la figura I-2 se presentan las fuerzas que intervienen para el cálculo del factor de seguridad del talud.

El F.S. se calcula con la expresión siguiente:

$$F.S. = \frac{M_r}{M_m} = \frac{CLR}{\sum Wd}$$

Se realizan tanteos hasta llegar al círculo mediante el F.S. mínimo. La experiencia ha demostrado que el valor del F.S. que proporciona un mayor margen de seguridad es 1.5, sin embargo, es posible proyectar taludes con un F.S. igual a 1.1 ó 1.2.

### I.3.3 Método sueco aplicado a suelos cohesivo-friccionantes.

$$S = C + \sigma \operatorname{tg} \phi$$

La ley de resistencia al esfuerzo cortante de este tipo de suelos se

determina mediante una prueba triaxial rápida (sin consolidación y sin drenaje). El método de cálculo es el denominado de las dovelas, el cual consiste en proponer un círculo de deslizamiento y dividir la masa de deslizamiento en rebanadas o dovelas, se hace un análisis de las fuerzas actuantes en cada dovela tomando en consideración algunas hipótesis formuladas por Fellenius el creador del método.

Se calculan los momentos resistente y motor necesarios para la determinación del F.S.

$$F.S. = \frac{M_r}{M_m} = \frac{R \sum (S_i L_i)}{R \sum |T_i|} = \frac{\sum (S_i L_i)}{\sum |T_i|}$$

El método viene a ser de tanteos, ya que es necesario encontrar el círculo crítico mediante el F.S. mínimo. Fig. I-3

#### I.3.4 Método sueco aplicado a suelos estratificados.

Cuando se trate de suelos estratificados el procedimiento a seguir es el siguiente:

- Se calcula el peso de la masa deslizante mediante sumandos parciales.
- La división de la masa deslizante se hace de tal forma que la

base de éstos no caiga en dos estratos con el objeto de facilitar los cálculos.

- El peso de cada dovela se calculará multiplicando la parte del área que caiga en cada estrato por su peso específico correspondiente.

Posteriormente se seguirá el procedimiento antes descrito para el cálculo del F.S. Ver figura I-4

### I.3.5 Método sueco aplicado a suelos cohesivo-friccionantes cuyo análisis se realiza con esfuerzos efectivos $S = C + \bar{\sigma} \operatorname{Tg} \phi$

Cuando se tienen suelos situados total o parcialmente bajo el N.A.F. o sometidos a una condición de flujo se utilizan esfuerzos efectivos para su análisis, por esta razón la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de estos suelos se hace mediante una prueba triaxial lenta o con una prueba rápida consolidada.

El método de análisis a utilizar será el método de dovelas aplicado a suelos sobre el N.A.F., solo en este caso existirá una variante relativa a las fuerzas actuantes.

La expresión que nos determina el factor de seguridad es la siguiente:

$$F.S. = \frac{\sum Si Li}{\sum Ti}$$

Se deberán realizar tanteos con el objeto de llegar al círculo crítico mediante el F.S. mínimo.

### 1.3.6 Falla traslacional.

La presencia de este tipo de fallas en los taludes, ha traído como resultado la creación de un modelo matemático que nos sirva para su análisis. Ver figura I-5

El estrato débil estará formado por arcillas o por arenas y dependiendo de esto, el análisis se realizará con esfuerzos totales o efectivos según corresponda. asimismo, se hará con la ley de resistencia usando la prueba triaxial que corresponda. En el caso de que el estrato débil esté formado por arena y se encuentre bajo el N.A.F., deberá considerarse centro de las fuerzas actuantes a la fuerza de subpresión U. Haciendo uso de la figura antes expuesta se puede observar con claridad las fuerzas actuantes o motoras y las fuerzas resistentes, pudiendo de esta forma determinar la expresión del F.S.

$$F.S. = \frac{M_r}{M_m} = \frac{F + P_p}{P_A}$$

Se recomienda que para diseños prácticos no se tome un valor menor de 1.5

#### 1.4 Métodos de análisis de estabilidad de taludes en roca.

Para efectuar el análisis de estabilidad de taludes en roca, es imprescindible contar con la siguiente información:

- 1.- Es importante efectuar un mapeo de las discontinuidades geológicas mediante métodos directos o indirectos.
- 2.- Debe realizarse un levantamiento topográfico que permita definir las condiciones geométricas del sitio.
- 3.- Determinar las cargas actuantes (peso del bloque, fuerzas hidrostáticas y fuerzas externas).
- 4.- Estimar las resistencias de las discontinuidades o superficies del deslizamiento.

Para el análisis de estabilidad de taludes en roca en general se presentan tres mecanismos de falla:

- 1.- Traslación.- En este, el bloque de roca se mueve siguiendo una o dos superficies de falla. El movimiento se puede asociar a una dirección.

2.- Volteo.- En este caso la falla ocurre por giro del bloque respecto a algún eje.

3.- Rotación.- La superficie de falla se puede asimilar a una curva (generalmente un arco de círculo).

Las fuerzas actuantes en un talud de composición rocosa, son las indicadas en la figura I-6.

En dicha figura las variables indicadas corresponden a las siguientes:

W peso del bloque; para su cálculo se requiere conocer las fronteras que lo definen: superficie exterior, superficie de falla, grieta de tensión o fisura preexistente.

Las grietas de tensión se abren en la parte superior del talud como consecuencia de los esfuerzos de tensión generados en esa zona por efecto de la excavación y no presentan por sí mismas una falla. Las familias de fisuras que atraviesan un macizo pueden delimitar bloques inestables que hay que analizar; si existen las fallas también deben tomarse en cuenta.

U y V presión de agua; en el cálculo de la presión hidráulica, es necesario conocer el régimen de flujo de agua existente en el macizo en cuestión, una forma conservadora y cómoda de tomar en cuenta lo anterior, es suponer que existe un tirante de agua,  $Z_w$ , en la grieta de tensión.

KW fuerza por sismo: en el caso de fuerzas sísmicas, se supone que es posible definir un coeficiente sísmico K, que corresponde a la proporción de la aceleración inducida por el sismo respecto a la gravedad. Dicho coeficiente genera una fuerza KW, cuya dirección se asocia normalmente a la horizontal. Debe tomarse en cuenta que la fuerza KW sólo actúa por periodos de tiempo muy cortos y que cambia de signo o sentido con una frecuencia que corresponde a la del sismo.

Vibraciones: la experiencia ha demostrado que un parámetro relevante en el daño de taludes rocosos, es la velocidad máxima en la partícula (V), puede relacionarse con la distancia R a que denota una carga de explosivos W por cada retardo, en la siguiente forma:

$$V = \alpha (R/\sqrt{W})^\beta$$

Los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  tienen variaciones fuertes y dependen tanto del tipo de roca como de la forma en que se detonan los explosivos. En el caso de taludes rocosos, se debe limitar la velocidad de la partícula a un valor menor a 5 cm/seg.

Fuerzas debidas a anclas: cuando se ha concluido que un talud es inestable, una de las soluciones para mejorar su estabilidad es el empleo de anclas. Las fuerzas que imponen estos elementos pueden tomarse en cuenta en los análisis.



Métodos de análisis de taludes en roca.

Falla por traslación.

#### 1.4.1 Método bidimensional.

En este caso el bloque de roca desliza sobre una superficie de falla y se supone de extensión infinita. El factor de seguridad se obtiene con la siguiente expresión:

$$F.S. = \frac{cA + (W \cos \psi_p - U + F \cos \theta) \tan \phi}{W \sin \psi_p + (V + KW) \cos \psi_p - F \sin \theta}$$

donde:

A: longitud de la superficie de deslizamiento.

c: cohesión en la superficie deslizamiento.

$\phi$ : ángulo de fricción en la superficie de deslizamiento.

W: peso del bloque deslizante.

$\psi_p$ : ángulo que forma la superficie de deslizamiento con la horizontal.

U: fuerza de subpresión actuando en la superficie de deslizamiento.

K: coeficiente sísmico.

F: fuerza debida a anclas.

$\theta$ : ángulo que forma F con la normal a la superficie de deslizamiento, su valor óptimo es igual a cero cuando el talud está seco.

En taludes en los que la posición de la grieta de tensión no puede ser observada, deberá tomarse en cuenta con los análisis la posición más crítica, ésta puede determinarse mediante tanteos.

El valor mínimo del factor de seguridad será igual a 1.5 en condiciones estáticas y 1.1 en vaciado rápido o con sismo.

#### 1.4.2 Método de la cuña.

Este método permite calcular el factor de seguridad de un bloque cuando sus posibilidades de movimiento están restringidas en una dirección, pero el deslizamiento ocurre en dos superficies de falla. El factor de seguridad se calcula en la siguiente forma:

$$F.S. = \frac{C_a A_a + C_b A_b + (R_a - U_a) \operatorname{tg} \phi_a + (R_b - U_b) \operatorname{tg} \phi_b}{W \operatorname{sen} \psi + K W \cos \psi - F \operatorname{sen} \theta}$$

donde:

$C_a, C_b$  : cohesión en los planos A y B.

$a, b$  : ángulo de fricción de los planos A y B.

$A_a, A_b$  : superficie de los planos A y B.

$U_a, U_b$  : fuerza de subpresión de los planos A y B.

$R_a, R_b$  : reacción de los planos A y B debida a las fuerzas W, KW y F.

- W : peso de la cuña.
- K : coeficiente sísmico.
- F : fuerza debida a anclas.
- $\psi$  : ángulo que forma la línea de intersección de los planos A y B con la horizontal.
- F'' : componente de F, paralela al plano vertical que pasa por la línea de intersección de los planos A y B.
- $\theta$  : ángulo que forma F'' con la normal a la línea de intersección de los planos A y B.

Cuando  $C_a$ ,  $C_b$ ,  $U_a$ ,  $U_b$ , K y F valen cero, el factor de seguridad se puede calcular en la siguiente forma:

$$F.S. = a \operatorname{tg} \phi_a + b \operatorname{tg} \phi_b$$

donde:

a y b : variables cuyo valor se obtiene de gráficas basadas en diferencias de echados. El plano A corresponde al de menor echado.

Los factores de seguridad mínimos serán 1.5 en condiciones estáticas y 1.1 en vaciado rápido o con sismo. Si no se tiene la seguridad de que el talud estará siempre drenado ( $U_a$  y  $U_b$  iguales a cero), se emplea la fórmula anterior con un factor de seguridad mínimo de 3.

#### I.4.3 Método tridimensional.

Permite calcular el factor de seguridad de un bloque cuando pueda deslizarse por una o dos de tres superficies de falla. Su aplicación requiere del uso de una computadora o métodos gráficos relativamente elaborados.

#### I.4.4 Método de las dovelas.

Cuando el problema de estabilidad de una ladera no se puede analizar suponiendo que desliza un solo bloque, el macizo, deberá representarse como una serie de bloques. Su aplicación requiere del uso de una computadora.

#### I.4.5 Fallas por volteo.

Este tipo de fallas puede presentarse en taludes en los que los planos de debilidad tienen un echado muy grande o donde se presentan rocas estratificadas. La falla ocurre en mecanismos de rotación respecto a un eje que usualmente se localiza en las partes inferiores de los bloques. Las fuerzas que intervienen son el peso de los bloques y los empujes debidos a otros bloques inestables.

Cuando se presenta este tipo de fallas se notan desprendimientos de bloques en la cara del talud.

La estabilidad puede mejorarse empleando anclas cuya posición y dirección dependerán de las condiciones de cada caso y del ingenio del responsable de obra.

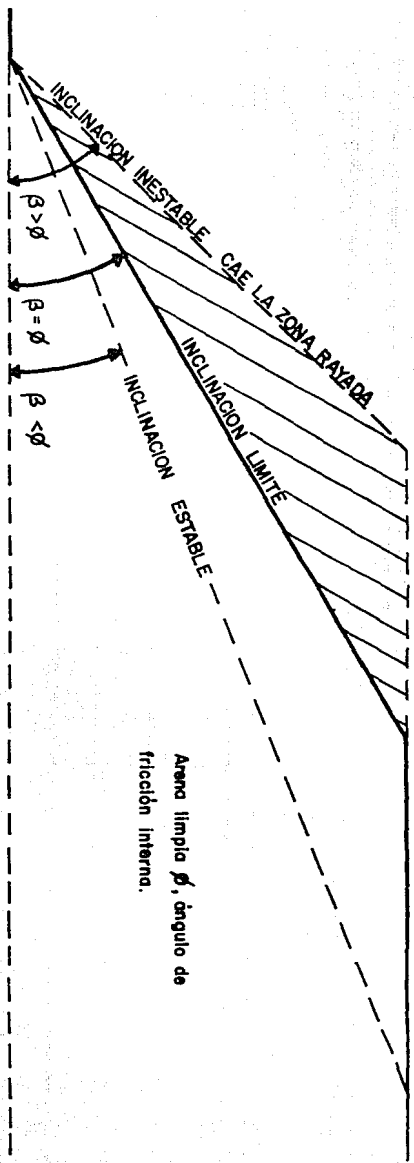
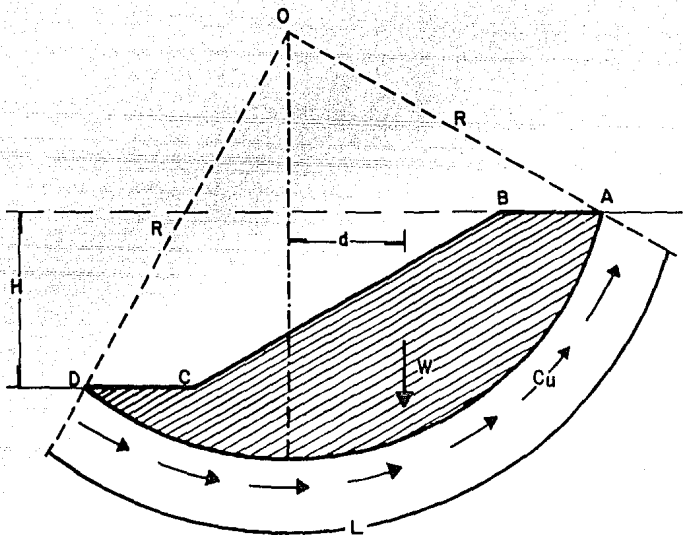
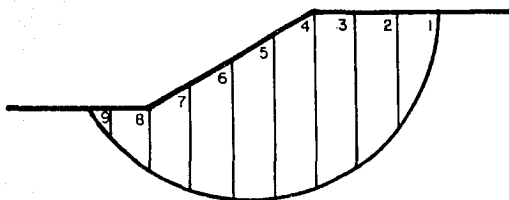


Fig.I-1 Talud constituido por arena limpia y seca.



**Fig.I- 2 Fuerzas actuantes en un talud compuesto por suelo cohesivo.**



CIRCULO DE FALLA SUPUESTO

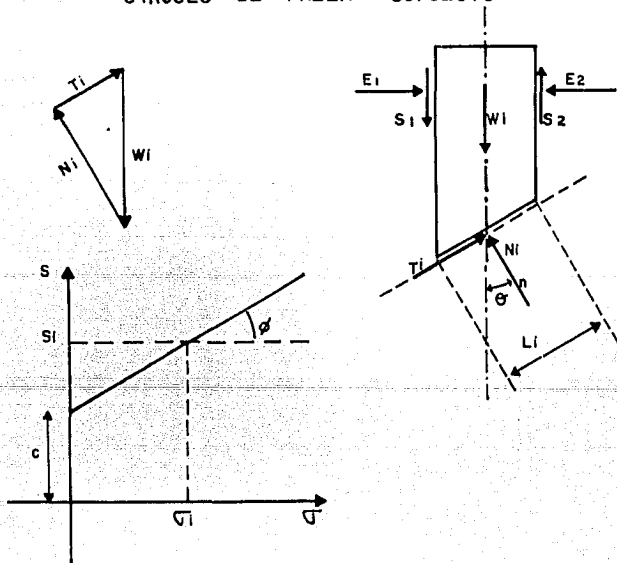


Fig. I-3 Procedimiento de las dovelas o de "Fellenius"



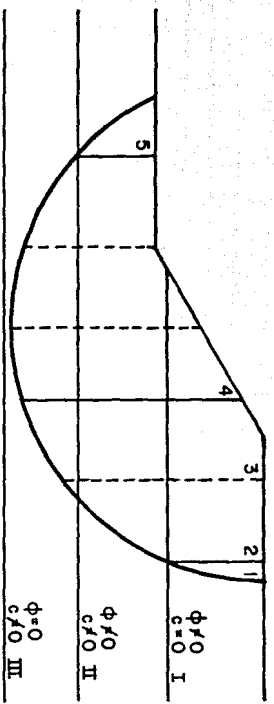
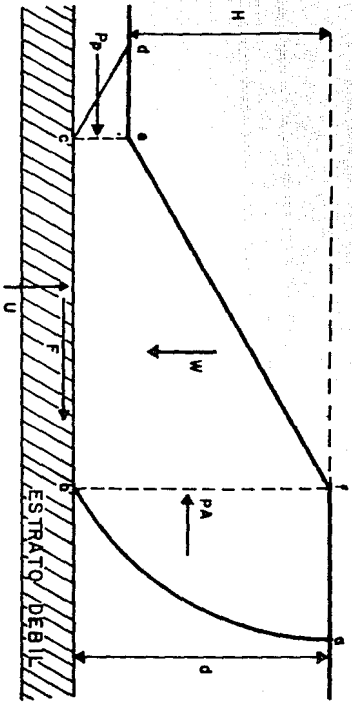


Fig. I - 4 Método sueco aplicado a taludes en suelos estratificados.



**Fig. I-5 Método de análisis aplicado a taludes con falla traslacional.**

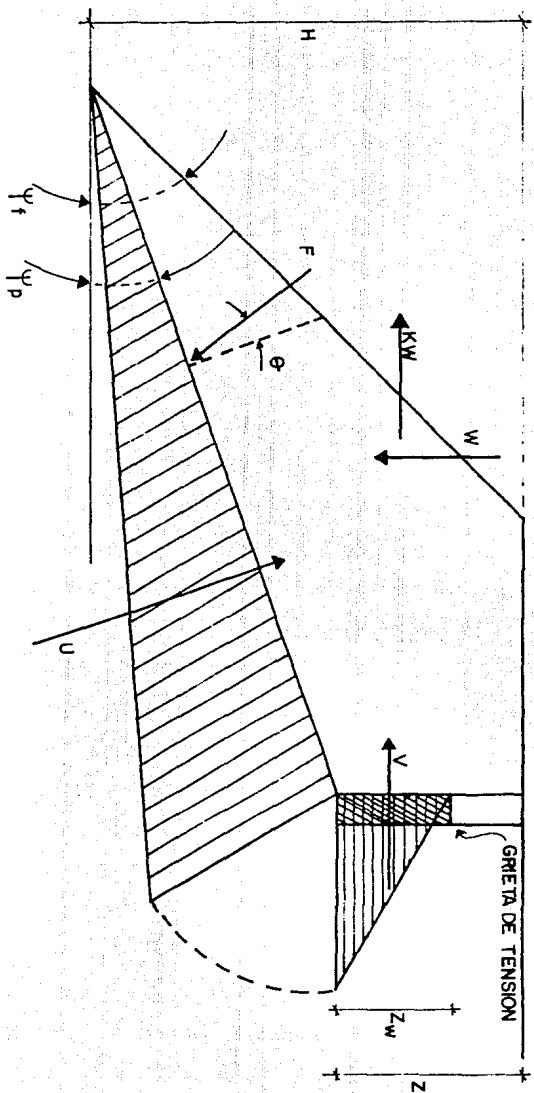


Fig. I-6 Método de análisis aplicado a taludes en roca.

## C A P I T U L O    I I

## II. " DISPOSITIVOS DE ANCLAJE A LA FECHA DESARROLLADOS."

Las técnicas de anclaje han tenido un gran desarrollo en los últimos 40 años, en un principio los sistemas de anclaje específicamente se restringían para estabilizar bloques de roca, sin embargo, posteriormente se fueron desarrollando otros tipos de anclaje, trayendo esto como consecuencia que su utilización se propagara a formaciones mucho más fragmentadas y meteorizadas, e incluso a suelos propiamente dichos.

En la actualidad se fabrican anclas de gran eficiencia gracias a la aparición de nuevos materiales, siendo ésta la razón por la cual ahora existen diferentes tipos de anclaje para los diferentes problemas de estabilización permitiendo que las anclas sean cargadas con fuerzas, de tal magnitud que hace apenas uno años no hubiera sido posible.

Gran parte del conocimiento que se tiene sobre las técnicas de anclaje se encuentran dentro del empirismo puro y su evolución viene ligada preponderantemente a la construcción de túneles.

El anclaje constituye hoy en día una de las herramientas que más se utilizan en las técnicas modernas de sostenimiento de taludes y excavaciones subterráneas.

## II.1 Partes integrantes de las anclas.

Las partes que en forma general integran todas las anclas son las siguientes:

- Punto de apoyo o elemento de anclaje.
- Barra o fuste.
- Cabeza o elemento de apoyo.

Mismas que se encuentran en la figura II-1.

Las anteriores son las partes principales de una ancla, sin embargo, es conveniente aclarar que para cada tipo de ancla las empresas fabricantes les asignan diferentes denominaciones a las mismas, así como diversas variantes.

En términos generales las anclas se clasifican en dos grandes grupos que son: anclas de fricción o de sostenimiento repartido y anclas de tensión o de sostenimiento puntual.

## II-2. Tipos de anclaje.

Dentro de este inciso se describirán diversos tipos de anclaje, cada uno de ellos desarrollados bajo un sistema determinado, ya que se trata de tecnologías de diversos países. Cada tecnología presenta un grado de

sófisticación, complejidad y resistencia en cada uno de sus elementos, así como sus respectivas variantes en cuanto a material utilizado, procedimiento de colocación y otros, pero todos desarrollados bajo el mismo principio de funcionamiento.

Los diversos tipos de anclaje presentan modalidades que caracterizan a un tipo de tecnología en especial dentro de las cuales tenemos anclas presforzadas y postensadas.

A continuación se presentan las principales tecnologías de anclaje que más se han difundido en el mundo:

#### A) Tecnología Suiza.

En Suiza ha sido creado el sistema B. B. R. V. y bajo el cual se han desarrollado diversos tipos de anclaje.

Los cables utilizados en los anclajes son un grupo de alambres que se retienen en cabezas de anclaje de varios tipos produciendo una gran variedad de cables típicos con capacidad de 50 a 220 ton., usualmente se emplea alambre de 7 mm de diámetro, sin embargo, pueden utilizarse también de 5 a 8 mm.

Tipo "M".- Es la forma más usual del anclaje móvil para el presfuerzo. Consiste en una cabeza anular, con rosca interna y externa.

que tiene una serie de taladros axiales para acomodar los alambres individuales. La rosca interna sirve para sostener la barra a través de la cual se aplica la tensión. La rosca externa acomoda una tuerca que se adapta en la cabeza cuando el cable está totalmente esforzado, se apoya contra una placa de acero ahogado. De esta manera la tuerca retiene la tensión en el cable mediante aplastamiento contra la placa y el concreto. Ver figura II-2.

Tipo "E".- Para usarse en conjunción con el anclaje tipo C. El arreglo de los alambres en el elemento básico es igual al tipo C. Ver figura II-3.

Tipo "C".- Esta forma de anclaje provee un arreglo más compacto de los alambres, lo cual es una consideración muy importante en cables de gran capacidad.

La fuerza de la flecha de tensión se aplica en la cabeza mediante un cople de tensión que recibe una tuerca similar a la usada en los anclajes tipo "M". Ver figura II-4.

Tipo "I".- Este anclaje consiste en una gruesa placa taladrada para recibir los alambres individuales y que sientan directamente en una placa de compresión.



Una pequeña placa circular retiene las cabezas de los alambres en su posición durante la colocación.

Un tubo de escape de aire pasa a través de las placas y debe estar perfectamente engrasado para facilitar su extracción después de la inyección de mortero. Ver figura II-5.

Tipo "J".- Es un anclaje embutido que se apoya en el mortero dentro del embudo y ducto para transmitir la carga al concreto. Se tensa y mantiene en posición antes de la inyección del mortero mediante un juego de partes provisionales apoyadas contra el concreto exterior. Es un anclaje nitido y poco costoso. Ver figura II-6.

Tipo "S".- Es un anclaje en forma de abanico, las cabezas de los alambres descansan sobre una delgada placa metálica. Los alambres están expuestos en todo el extremo de modo que cuando el concreto se cuela, los alambres se adhieren formando un sólido bloque de anclaje. Ver figura II-7.

Tipo "T".- Para cables cortos. Sencillo y económico. Ver figura II-8.

Tipo "D".- Es una cabeza con rosca, retenida mediante una tuerca. Permite que el cable de presfuerzo se introduzca dentro del ducto formado previamente en el concreto, en lugar de la práctica más usual de colocar con los cables en el lugar. La tensión se aplica desde el otro extremo.

Coples.- Se han previsto uniones especiales (coples) para conectar los cables en miembros grandes y continuos. Con el uso de éstos la construcción puede ser llevada en etapas y la continuidad puede ser mantenida. Ver figura II-9.

Anclaje roca ondulado.- Las ondas se forman mediante "atados" y "esferas" de concreto alternados. El cable tiene ducto en toda su longitud, excepto en el extremo del anclaje. Una inyección exterior entre el ducto y el taladro hecho en la roca produce la adherencia necesaria entre ancla y roca. Al fraguar, la tensión se aplica por el extremo libre y procede finalmente a la inyección en el interior del ducto. Como anclaje móvil pueden usarse cualesquiera de los anteriores descritos.

Anclas PERFO.- Están constituidas por una barra de acero y un tubo perforado seccionado longitudinalmente en dos partes. Las camisas PERFO vienen en dos tamaños 1 1/4" y 1 1/16" de diámetro y una longitud aproximada de 6.1 m. Ver figura II-10.

#### B) Tecnología Francesa.

La empresa Soletanche en Francia con su representante en México, y Sudamérica Cimentaciones Mexicanas, S. A., (CIMESA) se encarga de poner en el mercado anclas que se caracterizan por ser muy elaboradas en cuanto

a su fabricación y por su gran capacidad de soporte.

Bajo esta tecnología se fabrican anclas de fricción y de tensión denominándolas pasivas y activas o presforzadas respectivamente.

Anclas pasivas.- Son aquellas que están constituidas por una barra de acero para concreto armado y sellada mediante un colado de cemento, utilizando también como material de sellado la resina. Cuando estas anclas son utilizadas en roca, se denomina al macizo roca armada.

Anclas activas o presforzadas.- Son las que están constituidas por una armadura sellada al terreno en una extremidad, tensionada con uno de los procesos clásicos del presfuerzo y bloqueada cuando se tenga un valor determinado de tensión mediante un dispositivo.

Las anclas activas o presforzadas están formadas por dos grandes familias:

- 1) Aquellas en las que la armadura es sellada directamente en el terreno.
- 2) Aquellas en las que el armadura es sellada en una vaina de anclaje, sellada esta previamente al terreno.

Las anclas de tecnología francesa están constituidas principalmente por tres elementos denominados: parte pasiva, parte libre y parte activa, mismos que se encuentran en la figura II-11.

- 1) En la figura II-12 se observa como en este caso la inyección del bulbo de anclaje es efectuada directamente alrededor de la armadura; un dispositivo llamado tapón u obturador impide que cuando se realiza la inyección del sellado, el colado suba más allá del bulbo de anclaje.

La posición del obturador permite definir lo siguiente:

- a) La longitud del sellado de la armadura (que es la misma que la longitud de sellado del tirante), que corresponde por lo tanto a la longitud útil teórica del bulbo de anclaje.

- b) La longitud libre teórica de la armadura, que es medida entre el obturador y la cara externa de la placa de apoyo.

- 2) Este tipo de tirantes está representado en la figura II-13; y en el se observa que la armadura del tirante está sellada en una vaina metálica, la cual es sellada previamente al terreno, la longitud de sellado de la armadura en el interior de su vaina no es forzosamente la misma que la longitud de sellado de la vaina en el suelo. Se observa también que no hay identidad entre la longitud libre teórica del tirante y la de su armadura.

### C) Tecnología americana.

Anclas Bethlehem o anclas de ranura acuñaada.- Las anclas de ranura constan de una barra de acero con cuerda en un extremo y una ranura longitudinal en el otro extremo, la cual forma parte del elemento de apoyo; incluye además una cuña que completa dicho elemento, así como una placa de apoyo, tuerca y rondana que constituyen el dispositivo de anclaje. Se instalan en un primer barrenado de 1 1/4" de diámetro con 2" menos que la longitud del ancla. Para que se produzca un anclaje óptimo el diámetro del barrenado será menor a 1 1/4" o mayor a 1 5/6". Es una ancla sencilla y económica que en roca dura proporciona un anclaje excelente. Ver figura II-14.

Anclas con junta de expansión.- Estas anclas están dotadas por una barra de acero roscada internamente y un expansor mecánico. La mayoría de las anclas de expansión se adapta para perforaciones con un rango de diámetros de 1 3/8" a 2 1/2". Se utilizan comúnmente dos diámetros para las anclas: de acero suave de 3/4" con rosca y anclas de acero aleado de 5/8".

Anclas Williams.- Están formadas por una barra de acero con un corazón perforado longitudinalmente y roscada en ambos extremos, un expansor mecánico a base de conchas de expansión, placa de apoyo y tuerca. Ver figura II-15.

Las longitudes medias de estas anclas son 2.44, 3.05 y 4.57 metros. acoplándolas se pueden usar longitudes mayores, multiples o combinaciones de las anteriores. El diámetro del barreno normalmente es del orden de 5/8" mayor al diámetro nominal del ancla.

#### D) Tecnología Mexicana.

En Mexico los tipos de anclaje fabricados son las denominadas anclas de fricción y tensión, de las cuales son representativas las anclas elaboradas por la Empresa Geosistemas, S. A.

Anclas de fricción.- Este tipo de anclas constan de los siguientes elementos:

- Expansor para fijar y centrar el ancla.
- Barra corrugada con cuerda estandar en un extremo.
- Tubo de inyección.
- Tubo de respiración y testigo de llenado.

Ver figura II-16.

En algunas ocasiones estas anclas no constan del expansor.

Anclas de tensión.- Estas anclas constan de los siguientes elementos:

- Expansor mecánico de expansión paralela.
- Barra lisa o corrugada con cuerda estandar en ambos extremos.

- Placa semiesférica de apoyo, rondana esférica y tuerca de alta resistencia.

Ver figura II-17 y cuadro II-A

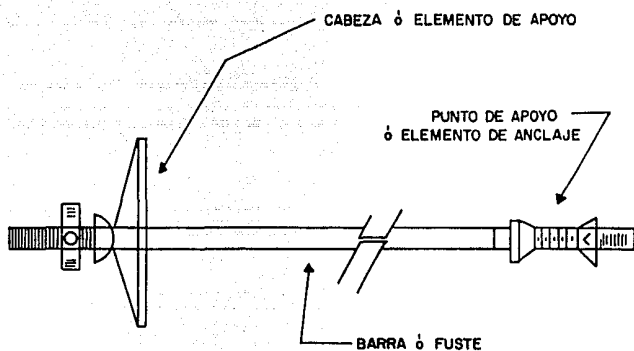
C U A D R O I I - A

PROPIEDADES DE LAS ANCLAS DE TECNOLOGIA MEXICANA.

Diámetro nominal de la barra	Diámetro del barrenado	Tensión máxima de trabajo en ton. para barras de acero con		Tensión máxima a la ruptura en ton. para barras de acero con		Torque para dar la tensión de trabajo en lb-ft *	
		LE=4.2	LE=6.0	LE=4.2	LE=6.0	LE=4.2	LE=6.0
5/8"	1-3/8"	6	9	9	14	75	125
5/8"	1-5/8"	6	9	9	14	75	125
3/4"	1-13/16"	9	12	14	18	175	210
1"	2-1/8"	16	22	24	33	400	550
1 1/4"	2 1/4"	24	35	36	52	**	**

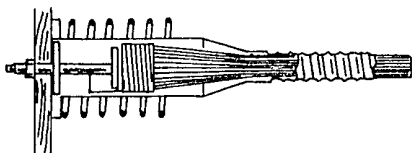
\* Torque correspondiente a la tensión máxima de trabajo.

\*\* Para dar la tensión requerida deberá utilizarse un gato hidráulico hueco.

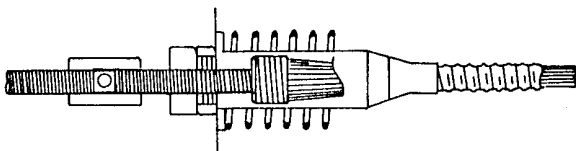


**Fig. II- 1 Partes fundamentales que integran a los anclas en general.**

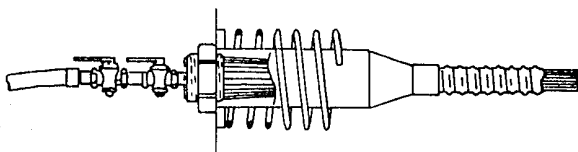




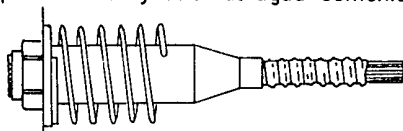
instalación en la estructura



operación de tensado

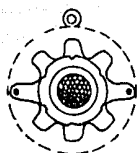


operación de inyección de agua-cemento

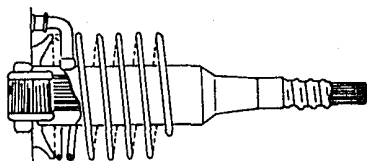


anclaje terminado

**Fig. II- 2 Anclaje tipo M (móvil)**

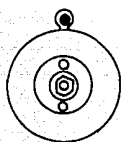


vista frontal

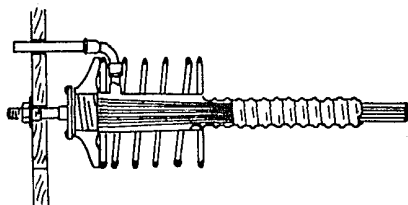


anclaje tipo 'c' tensado

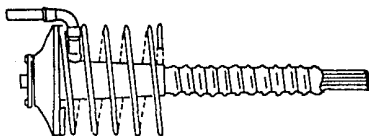
**Fig. II-4 Anclaje tipo C (móvil)**



vista frontal



instalación en la estructura

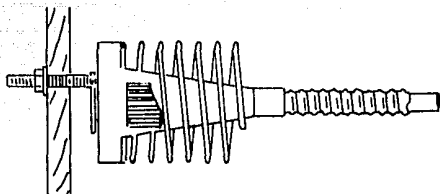


anclaje terminado

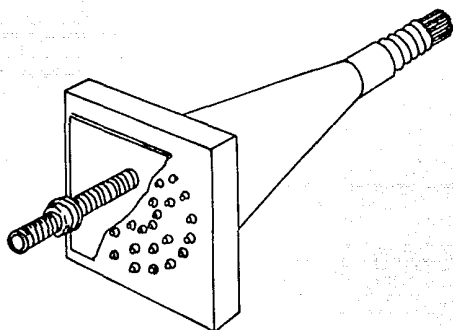
**Fig. II-3 Anclaje tipo E (fijo)**



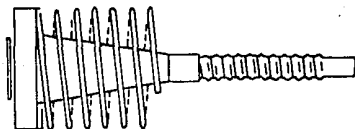
vista frontal



instalacion en la estructura

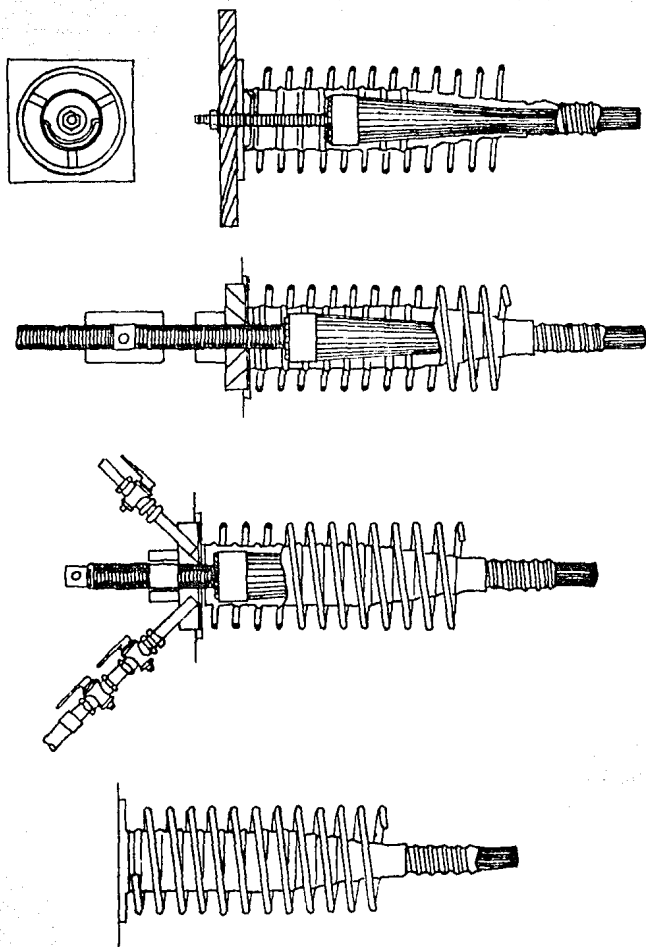


vista general

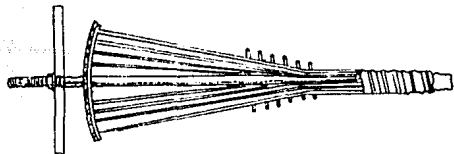
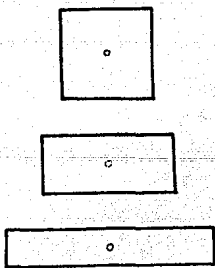
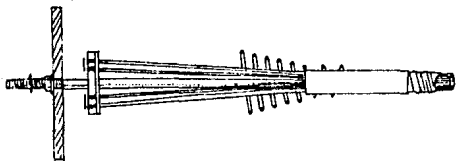
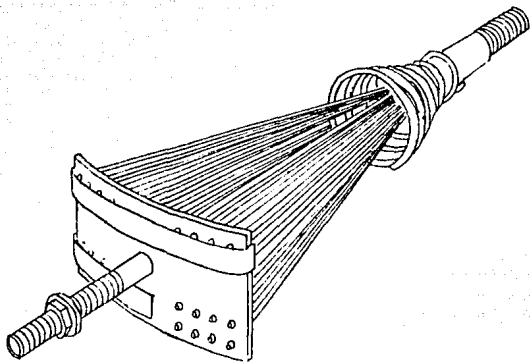


anclaje terminado

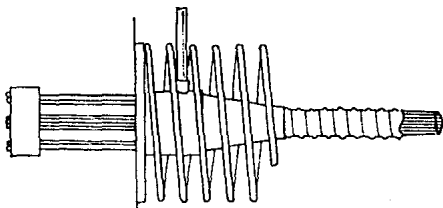
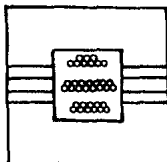
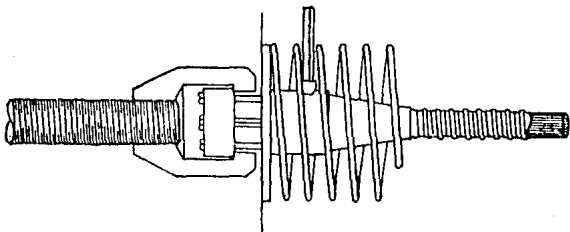
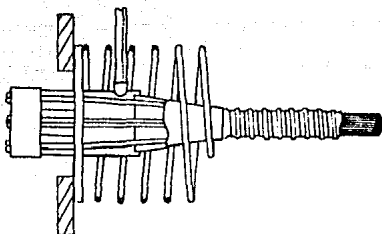
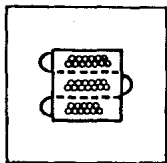
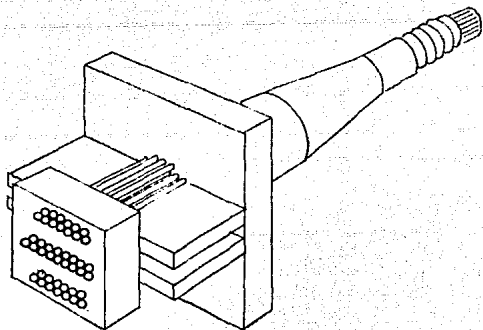
**Fig. II- 5 Anclaje tipo I (fijo)**



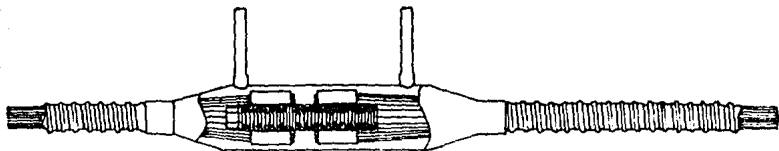
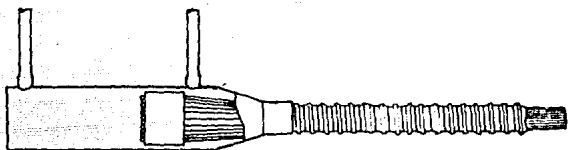
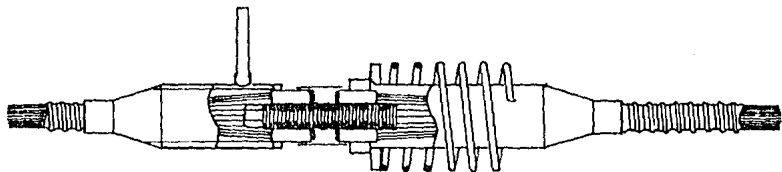
**Fig. II - 6 Anclaje tipo J (móvil)**



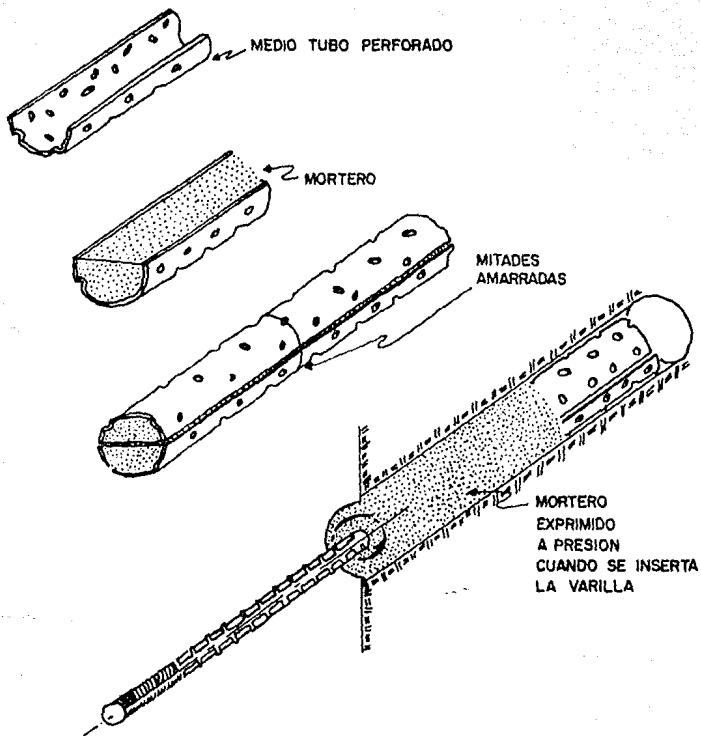
**Fig. II-7 Anclaje tipo S (fijo)**



**Fig. II- 8 Anclaje tipo T**

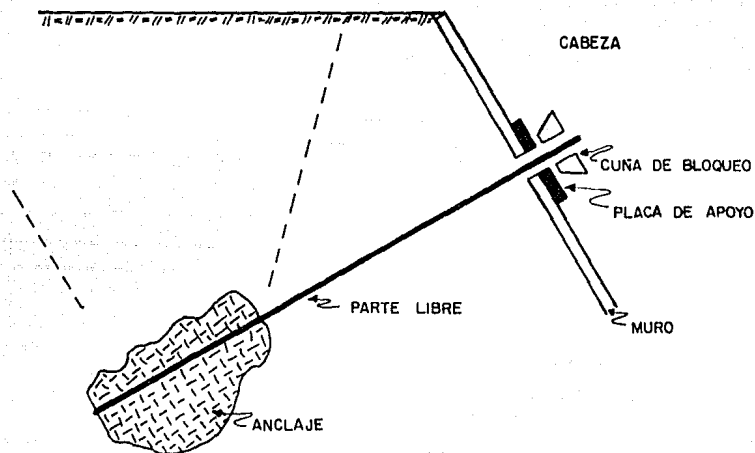


**Fig. II-9 Coples**



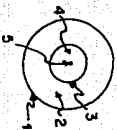
**Fig. II- 10 Anclas "Perfo."**





**Fig.II - II Partes integrantes de una ancla de tecnología francesa.**

CORTE A-A'



CORTE C-C'

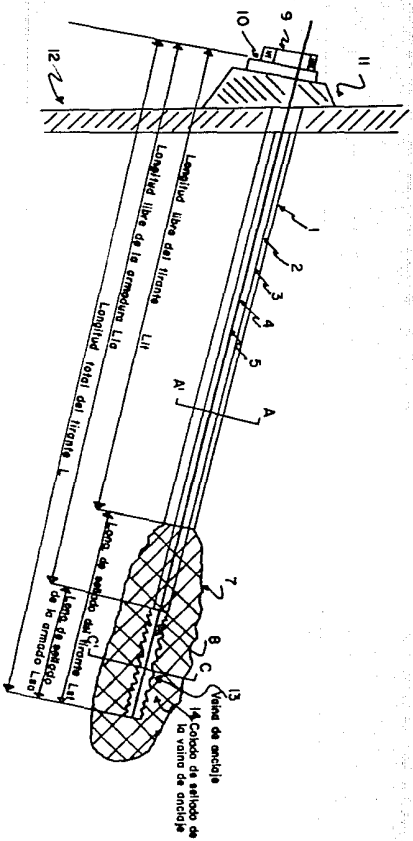
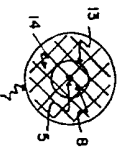
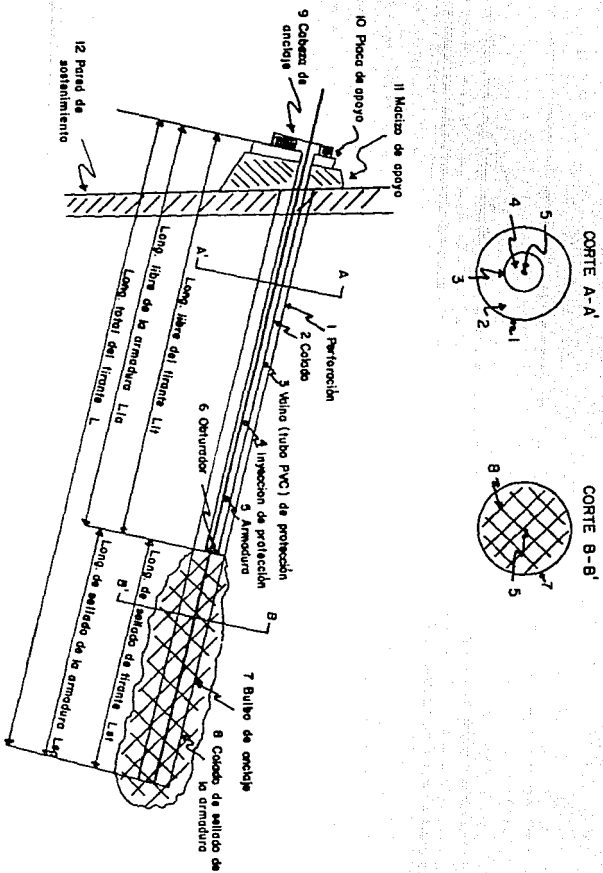
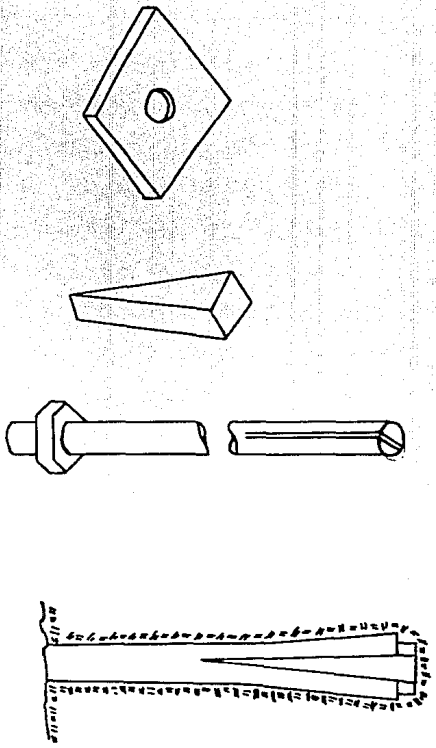


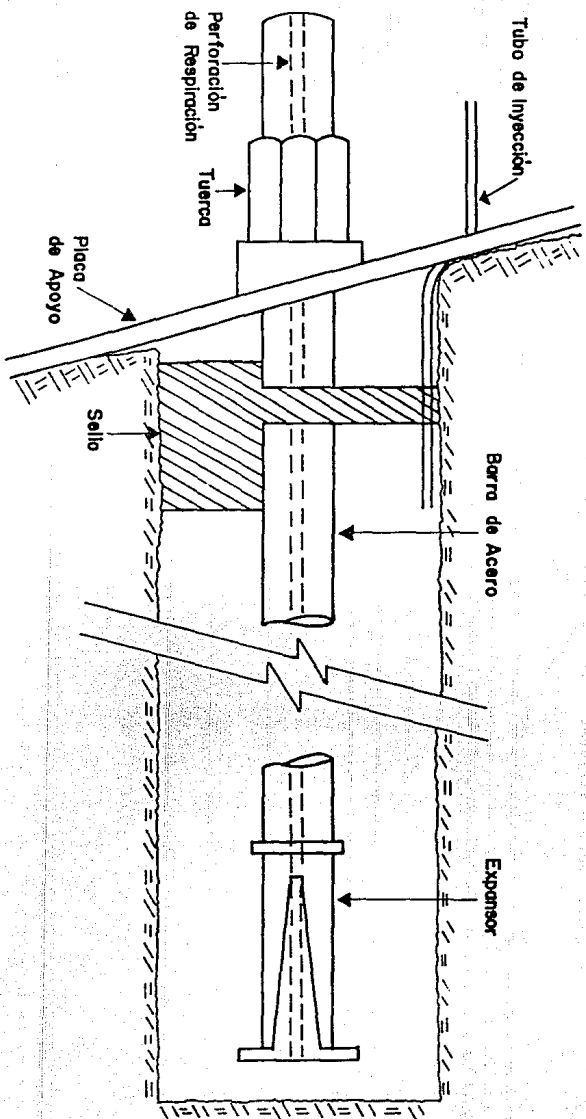
Fig. II-12 Ancla cuya barra de acero es sellada directamente en el terreno.



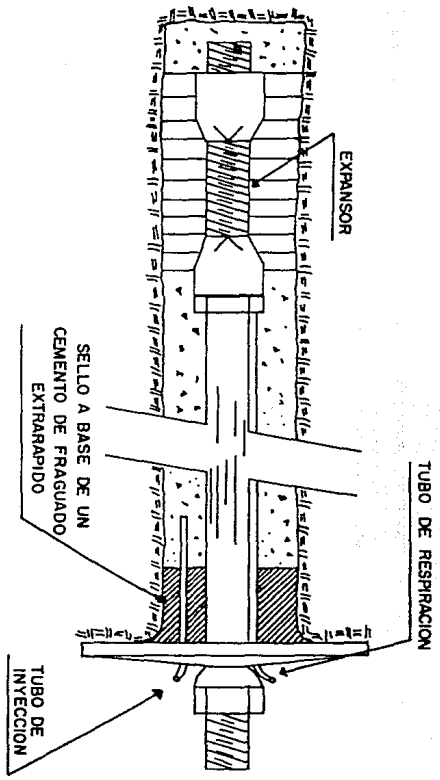
**Fig. II-13 Ancla cuya barra de acero es sellado en una vaina de anclaje y ésta a su vez al terreno.**



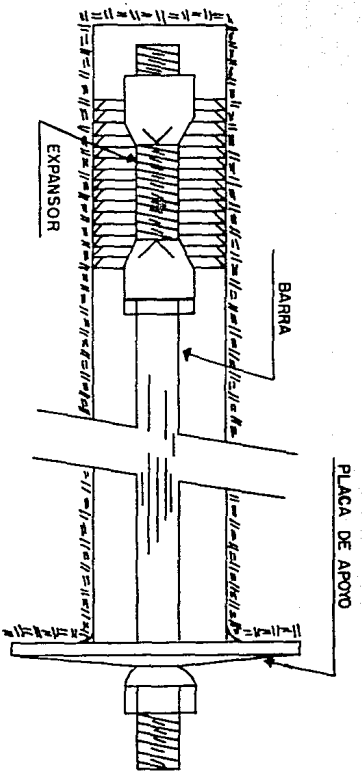
**Fig. II - 14 Ancha de ranura acañada**



**Fig. II-15 Ancla Williams.**



**Fig. II - 16 Ancias de fricción.**



**Fig. II - 17 Anclaje de tensión.**

**C A P I T U L O     I I I**



### III. "FUNCIONAMIENTO Y RESTRICCIONES DE LOS DISPOSITIVOS DE ANCLAJE"

Los anclajes son utilizados frecuentemente, ya sea como parte integrante de una obra, o como medio de estabilización preventiva o correctiva de la misma. Se emplea en excavaciones de rocas de minas, túneles, galerías, lumbreras, casas de máquinas y taludes.

Las son las funciones básicas que desempeña el anclaje:

- Proporcionar resistencia al corte y a la tensión que la formación no posee.
- Soportar en forma directa el peso de parte de la formación al tender a separarse de la misma.

Como se mencionó en el capítulo anterior, los tipos de anclaje desarrollados y utilizados en rocas muy fragmentadas, meteorizadas y suelos, se clasifican en anclas de tensión y de fricción.

### III.1.- Funcionamiento de las anclas.

#### A) Anclas de tensión.

Las anclas de tensión ayudan a incrementar el esfuerzo normal en las discontinuidades de la formación, aumentando en consecuencia su resistencia al corte en estas superficies. Esta función es importante principalmente durante la excavación de obras subterráneas donde masas incompetentes e inestables se pueden estabilizar por medio de anclas. Otra contribución de las anclas tensadas es proporcionar capacidad de tensión en el sentido en el que se presentan los desplazamientos de los fragmentos o bloques inestables.

En caso de taludes y macizos, en los que se generan esfuerzos de tensión y existe la tendencia a la separación de los bloques de roca, este tipo de anclas es de enorme utilidad.

El proceso de colocación de este tipo de anclas consiste a grandes rasgos en efectuar un barrenado con la longitud y orientación requerida según el refuerzo que se pretende dar a la formación; posteriormente se introduce el ancla en el barrenado y se acciona el dispositivo de anclaje (expansor mecánico, cuña, bulbo de anclaje mediante algún cementante, etc). Llevado a cabo lo anterior, se coloca la placa de apoyo en la boca del barrenado y se tensiona el ancla mediante la aplicación del par que le transmita la tensión solicitada.

La figura III-1 muestra un esquema que representa el funcionamiento de las anclas de tensión.

#### B) Anclas de fricción.

La función de las anclas de fricción es similar al de las barras de acero de refuerzo en el concreto armado, es decir, soportar los esfuerzos de tensión que los materiales de la formación inestable no pueden absorber.

La instalación de este tipo de anclas es similar al de las anclas de tensión, solo que en este caso puede o no requerirse el elemento de sujeción en la parte interior, además de que en todo el espacio anular existente entre las paredes de la barrenación y la barra de acero se inyecta algún cementante (mortero, lechada de cemento, resina) con lo que se producen fuerzas de adherencia a lo largo de toda el ancla tanto entre ésta y la solución cementante como entre el mismo cementante y las paredes de la barrenación.

Se ha podido comprobar que los resultados obtenidos de la utilización de las anclas de fricción en rocas con un alto grado de fisuración y en rocas constituidas por materiales granulares, son satisfactorios. Se emplean también en suelos duros y suelos blandos.

En la figura III-2 se muestra el funcionamiento de las anclas de fricción.

En algunas ocasiones las anclas de fricción constan de un expansor con el fin de fijar y centrar el ancla en la barrenación.

En este caso el funcionamiento del ancla corresponde a la conjunción de los dos tipos de anclas descritas, es decir, los esfuerzos de tensión que se generan son equivalentes a los de una ancla de este tipo por la presencia del expansor, así como también los esfuerzos de adherencia propios del funcionamiento de una ancla de fricción.

Para el buen funcionamiento de las anclas de fricción es importante que la inyección que se vaya a efectuar, ya sea mortero, lechada o resina, se realice con base en las especificaciones y recomendaciones que se establecen para su colocación, pues la inyección resulta fundamental en este tipo de anclas.

Se hace hincapié en este aspecto porque se presentan dos situaciones que se deben tomar muy en cuenta y son la adherencia de la mezcla de inyección al ancla y la adherencia de la misma mezcla al material de la formación por reforzar. Es importante que se logre la adherencia de la mezcla de inyección con los materiales en contacto y a todo lo largo del ancla, pues de lo contrario se presentarán fallas y el ancla no trabajará adecuadamente.

### III.2 Indicaciones generales para determinar la capacidad de las anclas de tensión fijadas con expansor mecánico.

A continuación se presentan algunos aspectos sobre una ancla de tensión, como son la capacidad de empotramiento de la roca, la capacidad de trabajo del ancla, el par de tensión aplicado, los cuales guardan una estrecha relación con el funcionamiento y comportamiento del ancla.

- 1.- Determinación de la capacidad de empotramiento de la roca en que se instalan anclas.- Los expansores mecánicos tienen una geometría que es apropiada para encajarse en las paredes de los barrenos en que se instalan, las estrias con que están formados constituyen el núcleo por el que se transmite la tensión aplicada del ancla a la roca. En rocas muy duras el expansor no se encaja totalmente en las paredes del barrero y su trabajo es fundamentalmente por fricción; en las rocas de menor dureza las estrias se encajan en su totalidad constituyendo un medio de transmisión muy eficiente. Sin embargo, entre estos extremos se encuentran la mayoría de las rocas en que se instalan anclajes y en ellas el expansor funciona combinando los efectos de fricción y de encajamiento, por lo tanto, para cada tipo de roca es necesario determinar la capacidad máxima que ofrece para empotrar el expansor una vez abierto y sometido al esfuerzo de tensión mediante la varilla del ancla.

Para determinar la capacidad de soporte de la roca es necesario valorizar aproximadamente el par que debe aplicarse a la barra del ancla para lograr el apoyo necesario del expansor contra las paredes del barreno y de esta forma permita tensionar el ancla a un esfuerzo cercano al límite elástico del acero que la constituye; tomando este valor como central se define un rango de pares de empotramiento que se utilizarán para realizarse ensayos, usualmente comprende entre el 75 y 125% del par de empotramiento central.

Dentro del rango definido se seleccionan al menos cuatro valores del par de empotramiento. Con cada par seleccionado, deben colocarse al menos tres anclas con expansores de primer uso; cada una de ellas se empotrará con dicho par y se someterá a una prueba de extracción, para determinar la fuerza que hace fallar el expansor empotrado.

Es usual iniciar las pruebas con el par de empotramiento del menor valor y continuar con los valores sucesivos en forma creciente, hasta obtener una menor capacidad a la extracción con un par mayor.

2.- Determinación del diámetro conveniente de las anclas.- El diámetro más eficiente para las anclas es aquel en que una vez labrada la roca en que se colocan las tuercas, da lugar a una área efectiva en las gargantas de las roscas, que multiplicadas por el esfuerzo

al límite elástico del acero de las varillas, nos conduce a una fuerza igual o ligeramente menor que la capacidad determinada para el expansor.

3.- Determinación de la capacidad de trabajo de las anclas.- La capacidad recomendable de trabajo, no debe exceder de 2/3 partes de la menor de las capacidades definidas para el expansor o para la fuerza que provoca un esfuerzo igual al límite elástico en el área crítica de la varilla. En diseños estructurales el esfuerzo admisible es igual al 50% del límite elástico, sin embargo, en las anclas es necesario aprovechar al menos las 2/3 partes de la capacidad de los elementos que la integran.

4.- Determinación del par de tensión.- Una vez que ha sido empotrado el expansor del ancla, es necesario colocar la placa de apoyo exterior, la rondana y tuerca con que se provocará la tensión en la varilla de ancla. La determinación del par de tensión puede realizarse mediante la fórmula desarrollada para este propósito, sin embargo, debido a la incertidumbre del valor de algunos de los parámetros que intervienen en las fórmulas, es preferible realizar una serie de pruebas, al menos 3 en cada diferente tipo de ancla, para determinar con precisión la relación entre la tensión inducida y el par con el que se aprietan las tuercas en el ancla; conocida esta relación, para tensionar el ancla a 2/3 de la capacidad de la varilla o del expansor, la que sea menor, bastará con aplicar en la

tuerca exterior el par de empotramiento correspondiente a la tensión de trabajo.

- 5.- Pruebas de verificación.- Cuando se tienen anclas dotadas con expansor mecánico colocadas en una roca y ésta sufre aflojamientos producto de explosiones cercanas, se producen separaciones de las paredes del expansor con respecto a las del barreno, perdiendo así su mecanismo de transmisión de la fuerza, por ello es necesario que en anclas instaladas solamente con expansor mecánico, se revisen periódicamente las tensiones, midiendo los pares de tensión que aceptan, con objeto de detectar si han ocurrido aflojamientos que liberen las tensiones en el ancla, para volver a empotrarla con el par óptimo antes definido y tensionarlas con el par que corresponde a la capacidad de trabajo del ancla.

Es recomendable para anclajes sistemáticos, rellenar los barrenos en que se instalan las anclas para evitar aflojamientos que provoquen las explosiones subsiguientes, y a la vez protegerlas contra oxidación.



### III.3 Restricciones y ventajas de las anclas.

Las restricciones propias de las anclas dependen de los materiales que las constituyen, mecanismo de acción, características del material donde se instalan ya sea suelo o roca, etc.

Así pues, las anclas que están formadas por una varilla corrugada de acero, tuerca y una placa como retén y que utilizan mortero como elemento de sujeción a lo largo del ancla, resultan ser sencillas y económicas, pero su principal restricción es el que no se puedan tensar antes de que se presenten deformaciones importantes en la roca.

El ancla ranurada con cuña es también sencilla y económica y en roca dura proporciona un anclaje excelente y permite el tensado inmediato del ancla; la restricción de este tipo de anclas se debe a que el área donde se presenta la expansión del ancla es muy reducida, pudiendo provocar una trituración local de la misma cuando la resistencia de la roca inalterada es menor de unos 105 Kg/cm<sup>2</sup>, con el deslizamiento consecuente del ancla.

Las anclas con expansor poseen numerosas ventajas entre las que se encuentran la que se pueden tensar inmediatamente después de su instalación e inyectarse posteriormente cuando los primeros movimientos hayan cesado. Es un anclaje muy seguro en roca buena y se pueden lograr cargas de anclaje elevadas.

Más que una restricción, posee desventajas con respecto a otras anclas, pues su costo es elevado y requiere mano de obra especializada para su colocación así como un determinado mantenimiento.

Las anclas de tensión cuyo apoyo se logra a través de un tramo de la misma mediante mortero, representan un sistema económico con buenas perspectivas de anclaje en muchos tipos de roca, sin embargo, su restricción se debe a que no es posible tensarlas hasta que la inyección del tramo de apoyo ha fraguado. La rigidez tanto del ancla como de la placa puede ser demasiado pequeña para algunas aplicaciones.

Las anclas tensadas y fijadas con resina tienen grandes ventajas como son: instalación sencilla, alta resistencia en roca de mala calidad y si se eligen los tiempos de fraguado adecuados, en una sola operación se obtiene un sistema de anclaje totalmente inyectado; pese a las numerosas ventajas que poseen estas anclas, presentan desventajas que en algunos casos podrían resultar significativas como son su elevado costo y el limitado tiempo de almacenamiento de las resinas sobre todo en climas calientes.

El uso de las anclas en general representan numerosas ventajas (con respecto a los demás métodos para estabilizar taludes) entre las cuales se tienen:

- Sirven para incrementar la capacidad de soporte natural tanto de roca como de suelos.
- Pueden emplearse en combinación con estructuras convencionales de ademe como son los muros de concreto, retículas de acero y madera, el concreto lanzado, mallas de alambre, solares, etc.
- Aceleran el avance de los trabajos dada la rapidez y facilidad de instalación.
- Proporcionan una economía que en algunos casos representa hasta un 50% en costo y tiempo, comparado con otros sistemas de soporte.
- Mediante una sencilla instrumentación puede controlarse el correcto funcionamiento del sistema.



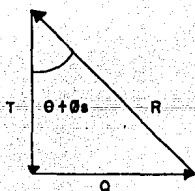
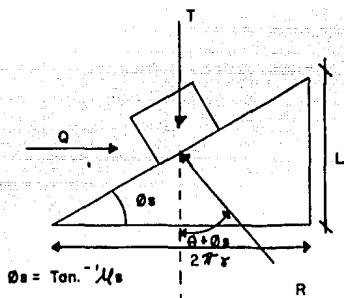
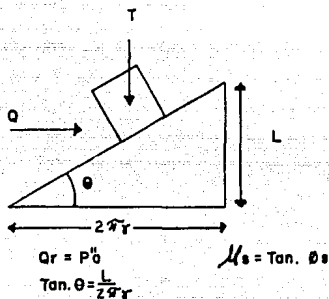
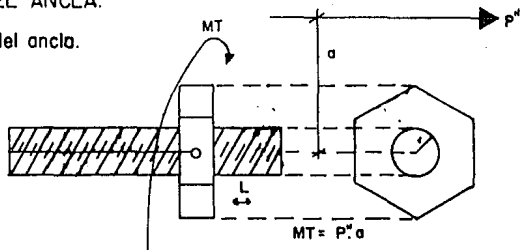
Donde:

- $\uparrow$  : Fuerzas de empuje que induce la formación inestable sobre la placa de apoyo.
- $\rightarrow$  : Esfuerzos de tensión inducidos a la barra de acero.
- $\leftarrow$  t : Fuerzas de fricción generadas en la superficie de apoyo del expansor.
- $\rightarrow$  T : Fuerza de tensión producto del torque aplicado en la cabeza del ancla.
- $F_t$  : Tensión inducida a lo largo del ancla.
- $F_A$  : Fuerzas actuantes que tienden que la zona inestable deslice.

## ANEXO

ANÁLISIS DE FUERZAS QUE INTERVIENEN EN LAS PARTES INFERIOR Y SUPERIOR DEL ANCLA.

a) Parte superior del ancla.



$$\text{Tan. } \theta + \theta_s = \frac{Q}{T}$$

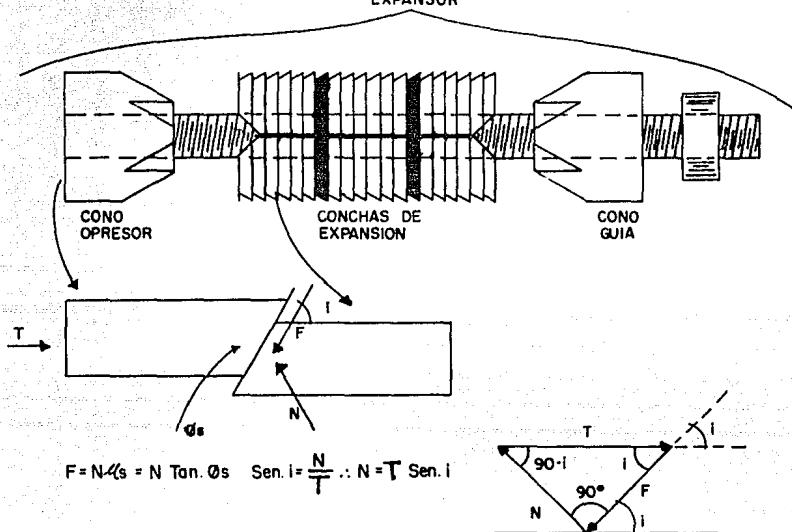
$$T = \frac{Q}{\text{Tan. } \theta + \theta_s}$$

Donde:

- $F$  : Fuerza de tensión inducida al ancla mediante el par de momento aplicado en la tuerca.
- $Q$  : Fuerza aplicada a la tuerca para vencer la fricción entre ésta y la rosca de la varilla.
- $P''$  : Fuerza aplicada a la tuerca para producir el torque que se traduce en la fuerza  $T$ .
- $a$  : Longitud de la palanca necesaria para producir el torque.
- $MT$  : Momento de torsión producto de la fuerza  $P''$  y el brazo de palanca  $a$ .
- $R$  : Resultante de la componente de fuerzas.
- $\mu_s$  : Coeficiente de fricción estático.
- $\theta$  : Angulo de avance de la tuerca con respecto a la rosca de la varilla.
- $\phi_s$  : Angulo de fricción desarrollado entre la rosca y la tuerca del ancla.
- $r$  : Radio de la varilla del ancla.
- $L$  : Longitud que existe entre dos cuerdas de la rosca.

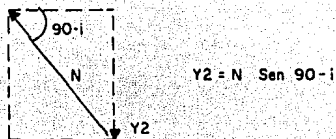
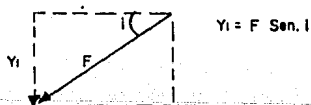
b) Parte inferior del ancla (expansor).

EXPANSOR



$$F = N \cos \theta_s = N \tan \theta_s \quad \text{Sen. } i = \frac{N}{T} \therefore N = \frac{T}{\text{Sen. } i}$$

Obteniendo las componentes verticales de F y N, se tiene lo siguiente:



$$Y = Y_1 + Y_2$$



Dónde:

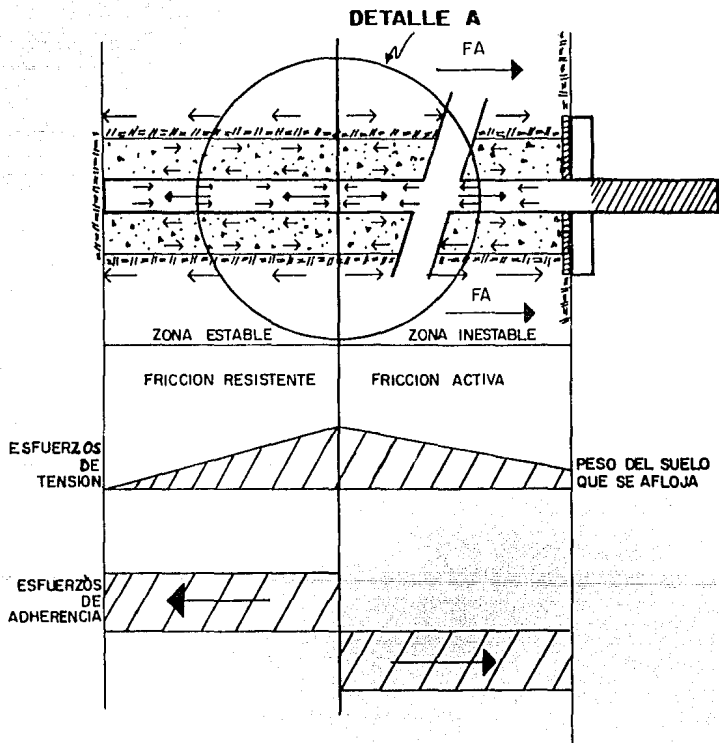
Y : Fuerza que se aplica a la superficie del barrenado producto de la expansión de las conchas del expansor.

T : Fuerza de tensión inducida al ancla mediante el par de momento aplicado en la tuerca.

F : Fuerza de fricción desarrollada entre las superficies del cono opresor y las conchas de expansión.

N : Fuerza normal entre el cono opresor y la concha de expansión.

i : Angulo de inclinación del cono opresor y conchas de expansión con la horizontal.



**Fig.III- 2** Funcionamiento de una ancla de fricción.

Donde:

$F_{emp}$  : Fuerza de empuje que induce la formación inestable sobre la placa de apoyo.

$\leftarrow \rightarrow$  : Esfuerzos de tensión inducidos a la barra de acero por la fricción desarrollada a lo largo de ésta tanto por la tendencia de la formación inestable a deslizarse, como por la oposición a esta acción en la parte estable de dicha formación.

$\rightleftarrows$  : Fuerzas de fricción que se generan entre la varilla del ancla y la mezcla cementante y entre ésta y las paredes de la barrenación.

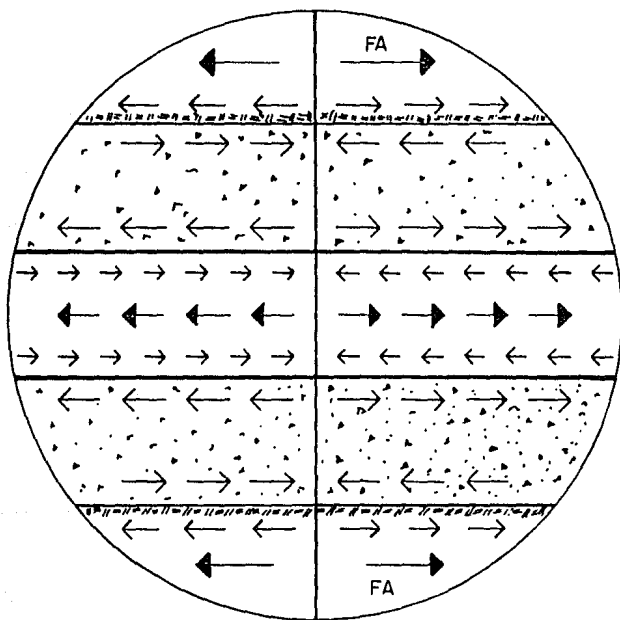
$F_A$  : Fuerzas actuantes que tienden a que la zona inestable se deslice.

$F_t$  : Fuerza de tensión inducida a lo largo del ancla.

## DETALLE A

**ZONA ESTABLE  
DE LA FORMACION**

**ZONA INESTABLE  
DE LA FORMACION**



## C A P I T U L O     I V

#### IV. "PROCESO CONSTRUCTIVO PARA LA COLOCACION DE ANCLAS"

En este capítulo se mostrarán algunas especificaciones y recomendaciones que las empresas encargadas de la colocación de anclas hacen al respecto.

Cada país ha desarrollado su propia tecnología y en cada una de ellas se muestran procesos constructivos similares, sin embargo, existen algunos puntos que caracterizan a cada tecnología. A continuación se muestran algunas de las principales tecnologías desarrolladas en el mundo.

##### IV.1 Tecnología francesa.

La tecnología francesa de la colocación de anclas se desarrolla en varias fases que son las siguientes:

Perforación.- Los diámetros de la perforación de un barreno se encuentran comprendidos entre 100 y 200 mm, todas las inclinaciones contempladas a priori por medio de una herramienta adaptada al terreno (rotación).

Colocación de la armadura.- La armadura puede estar formada por barras, filones paralelos, torones. Se trata generalmente de armaduras idénticas o análogas a las utilizadas en el concreto presforzado.

La capacidad unitaria de los tirantes puede variar de algunas a 1500 toneladas. La gama corriente va de 30-50 a 150-200 toneladas; las longitudes totales dependen de las características de los proyectos.

Generalmente están comprendidas entre 15-20 m y 40-60 m. Más allá de estos valores se presentan problemas de perforación y de colocación.

La colocación se hace con la ayuda de una grúa, de un rotador o también a mano con un equipo de 10 a 15 hombres.

El anclaje.- El anclaje al terreno encajonado se hace por inyección de colado de cemento. Diversos sistemas coexisten para conducir esta inyección en función del terreno encajonado y de la empresa; el más común es el tubo de manguitos.

El tensado.- Es efectuado por un gato que se apoya sobre la estructura. Enseguida se substituye el gato por un dispositivo de bloqueo.

Protección contra la corrosión.- Se distinguen los tirantes de uso provisional (algunos meses, reglas Securitas T.A. 77) y los tirantes de

uso definitivo o permanente. Para estos últimos se debe tomar en cuenta medidas contra la corrosión del acero, la cual aumenta con la tensión.

Estas medidas se aplican sobre las tres partes del tirante:

- Zona de anclaje o vaina preinyectada.
- Parte libre, tubo más producto en el espacio anular.
- Cabeza, capote de protección con diversos productos químicos.

Dentro de las anclas activas existen varios procesos de realización de los tirantes que varían según las empresas y se diferencian esencialmente en el modo de ejecución del sellado. A continuación se presentan dos procesos de sellado:

#### Proceso tirante TMD Bachy.

En este proceso el sellado está hecho en dos etapas. En la primera se sella un tubo al terreno realizando la consolidación al bulbo por inyección; después se coloca el tirante en el interior del tubo y se realiza el sellado del tirante al tubo.

#### Proceso IRP Soletanche.

En este proceso el sellado y la consolidación son hechos simultáneamente, el proceso de inyección permite realizar una reinyección si es ne-



casario, lo cual puede ser ventajoso en caso de incertidumbre sobre las calidades mecánicas de la roca en la zona de sellado o si el anclaje no se siente demasiado resistente.

#### Método de inyección de un tirante Soletanche IRP.

Este procedimiento consiste en inyectar a través de los agujeros de un tubo de P.V.C. de 50 a 60 mm de diámetro perforados a distancias iguales. Figura IV-1. Este tubo se introduce después de haber limpiado la perforación en toda su profundidad. Los agujeros están cubiertos por un trozo de tubo de hule que funciona como válvula y que se denomina manguitos. Así la lechada puede salir del tubo, pero no puede volver a entrar y teóricamente se puede volver a emplear la misma perforación para otra inyección.

Durante la extracción del tubo de ademe, el espacio anular comprendido entre las paredes de la perforación y el tubo de manguitos se rellena con una lechada de cemento y arcilla. La dosificación de esa lechada es tal que al fraguar se convierte en un material plástico con una resistencia a la compresión simple pequeña que será fácil de agrietar al momento de la inyección.

Para inyectar el terreno, la lechada del espacio anular ya fraguada tiene que agrietarse en la zona de los manguitos. Esta operación se lo-

gra inyectando agua o lechada de inyección o presión a partir de un tubo de F.V.C. provisto de dos obturadores, que se desplaza en el interior del tubo de manguitos.

El agrietamiento de la lechada del espacio anular necesita una presión más fuerte que la presión de inyección del terrano pero es una sobre-presión transitoria que necesita solamente unos golpes de bombeo.

La composición de la lechada del espacio anular es importante ya que si la dosificación de cemento es demasiado alta la rotura será difícil, esto mismo sucede cuando existen desprendimientos en las paredes del barreno que dejen espesores mayores de recubrimiento en algunas zonas. Si la cantidad de cemento es insuficiente, el recubrimiento será demasiado plástico y no se romperá frágilmente sino que se desprenderá del tubo, dando lugar a resurgencias que pueden llegar hasta la superficie.

La inyección se efectuará después de la rotura de la lechada del espacio anular, utilizando también el tubo de doble obturador a la altura de cada manguito. Mediante este dispositivo, es posible inyectar capas profundas y comenzar por cualquier punto, separando las operaciones de perforación e inyección. El procedimiento permite ajustar el tipo de lechada a la granulometría de cada estrato y también comenzar con los estratos más permeables.

A pesar de la preparación que requiere este sistema de inyección, es de un costo aceptable y de todos modos no existe actualmente otra solución práctica para este tipo de tratamiento.

Debe tomarse en cuenta que la deformación que sufre el terreno por la inyección en perforaciones cercanas flexionan el tubo de manguitos y en ocasiones impiden el desplazamiento del obturador en su interior. La rotura de estos tubos no es rara, a pesar de que son flexibles.

#### IV.2 Tecnología americana.

Enseguida se presentan algunas recomendaciones y especificaciones respecto a la colocación de anclas.

Instalación de anclas.- El primer paso recomendado es realizar un levantamiento estratoscópico del área inmediata al techo que se va a anclar esto es especialmente recomendado en áreas vírgenes donde no existen reconocimientos previos ni la composición estructural de la roca.

En capas de roca o roca foliada, el anclaje se hará relativamente en las láminas gruesas, la fuerza del ancla puede ser considerablemente grande.

En rocas conjuntas un examen estratoscópico puede ayudar para determinar la latitud de los planos de juntas o posiblemente estimar la zona débil de juntas en que se pueden instalar anclas en una dirección aproximadamente perpendicular a este plano. Así también, se pueden detectar zonas intemperizadas o áreas de roca inestable.

La profundidad del barreno va a depender del tipo de ancla que se trata, por ejemplo, si se tiene una ancla de expansión la longitud del barreno no es crítica previendo que ésta sea menor que la del ancla aproximadamente 5 a 10 cm. con el objeto de poder colocar la placa de apoyo y la tuerca.

En la instalación de cualquier tipo de ancla el diámetro del barreno es crítico, por lo que debe verificarse periódicamente con un calibrador de barreno.

Para los pocos tipos de roca en los cuales no se puedan desarrollar anclajes satisfactorios (por el deslizamiento de anclaje) de manera convencional, el anclaje se puede mejorar algunas veces por inyección del extremo del ancla con el expansor localizado en el interior del barreno.

En formaciones de capas superpuestas existe la tendencia a aflojarse y desprenderse con el tiempo la capa superior que se encuentra sujeta por el ancla. Generalmente estos desprendimientos no afectarán la estabili-

dad del área anclada, aunque en algunos casos la erosión de la superficie puede continuar hasta que la tensión en el ancla se pierda. En ocasiones

la caída de la roca suelta en la superficie es un riesgo por lo que un tratamiento superficial es requerido. Un tratamiento consiste en colocar una malla sujeta por las placas de apoyo. Otro procedimiento es ligar las anclas con canal de hierro.

Un anclaje satisfactorio es aquel que prevee una capacidad de carga máxima con un desplazamiento mínimo en la cabeza del ancla respecto al punto inicial del anclaje, como con un incremento de carga en el ancla.

En la práctica el desplazamiento en las cabezas de las anclas es el resultado de los siguientes factores: una elongación elástica del ancla (depende de la longitud del ancla, lo cual únicamente se puede reducir empleando anclas de escuadria más grande); un desplazamiento del ancla en el barreno cuando el ancla es cargada y en anclas de expansión, un desplazamiento en el interior de las conchas del expansor cuando el ancla es cargada.

### IV.3 Tecnología mexicana.

Descripción general de las anclas de fricción.- Las anclas de fricción constan de una varilla corrugada que en uno de sus extremos tienen sujetas dos mangueras de 12.7 mm de diámetro, una de 50 cm. de largo por la cual se efectuará la inyección y la otra de la longitud de la varilla más 25 cm. cuya función es certificar el completo llenado del barreno al efectuar la inyección. El ancla tiene 3 centradores distribuidos en su longitud para lograr una posición centrada del ancla en el barreno de manera que se logre un espesor de lechada uniforme en el perimetro.

Cada ancla se introducirá en el barreno con un diámetro 24 mm mayor que el diámetro del ancla, quedando la manguera de inyección en la boca del barreno; enseguida se sella la boca del barreno cuidando que la barra quede al centro y se procede a efectuar la inyección de lechada hasta llenar completamente el espacio entre el barreno y el ancla.

#### IV.3.1 Especificaciones de materiales y procedimiento de colocación.

##### A) Sello del barreno.

a) Materiales.- El sello de inyección será formado como una mezcla de

fraguado instantáneo constituida por cemento portland, un aditivo que provoque el fraguado instantáneo y agua.

- b) Proceso de elaboración y colocación del sello.- El aditivo se mezcla con el cemento en proporciones iguales por volumen, hasta lograr una masa de consistencia igual a la del masticue. Una vez lograda ésta, se le adicionan a la mezcla unas gotas de agua, continuando con el amasamiento hasta que la misma empiece a calentarse sin perder su consistencia, lo que indicará que se ha iniciado el proceso de fraguado. La mezcla se coloca entonces en la boca del barrenado para formar un tapón en una longitud mínima de 10 cm. y con la barra en el centro del barrenado; el tapón formado se presiona con la mano unos dos o tres minutos auxiliándose de una jerga húmeda.

Este tiempo es suficiente para que se endurezca y se mantenga firmemente en su lugar.

- c) Es importante que tanto la mezcla como su colocación se ejecuten con la mano a fin de que el operador se de cuenta del calentamiento de la masilla y proceda a colocarla sin pérdida de tiempo. Se recomienda mezclar solo la cantidad que se puede colocar en un lapso de 2 minutos, ya que después de este tiempo la mezcla endurece y se desperdicia.

## B) Mezcla de inyección

- a) **Materiales.**- La mezcla inyectada consistirá en una lechada formada con agua, cemento de resistencia rápida y un aditivo que es fluidificante, retardante del fraguado inicial y estabilizador del volumen.
- b) **Proporción de la mezcla.**- Este aspecto va a depender de la resistencia a que se desee. Para obtener una resistencia adecuada y un fácil bombeo de la lechada por ejemplo, se deberá usar una relación de agua-cemento no mayor de 0.50 (25 litros de agua por un saco de cemento), el aditivo podrá ser el "Grout-Fluidifier" MB-618 tecnocreto u otro de propiedades similares que proporcione por lo menos iguales resultados.
- c) **Preparación.**- El agua limpia y el aditivo se mezclarán a la mayor velocidad posible a fin de disolver totalmente el aditivo, se agregará entonces el cemento mezclado hasta disolver todos los grumos y obtener una mezcla homogénea, una vez logrado esto, se colocará la lechada formada en el recipiente de la bomba de inyección.
- d) **Inyección.**- Para efectuar la inyección se empleará una bomba de propulsión o neumática que tenga un rendimiento tal que permita inyectar con economía y eficiencia el volumen de lechada que requieren las anclas que se instalan.

Deberá tener especial cuidado de que la inyección se realice a una presión no mayor de 2 Kg/cm<sup>2</sup>. El procedimiento de inyección será el siguiente:



- 1.- Adaptar la manguera de la bomba al tubo de inyección del ancla.
- 2.- Accionar la válvula de salida de la bomba para iniciar la inyección, verificando mediante un manómetro que la presión no exceda el valor especificado de 2 kg/cm<sup>2</sup> y se mantenga hasta que la lechada salga por el tubo de respiración o testigo, en ese momento se obturará el tubo testigo y a continuación el de inyección antes de desconectar la bomba.

La inyección de lechada no debe suspenderse hasta constatar que por el tubo sale lechada de cemento con la consistencia de la que se inyecta, con objeto de verificar que se ha desalojado toda el agua que puede existir dentro del barrano y este se ha llenado completamente de lechada.

Es absolutamente indispensable asegurar que el espacio dentro del barrano, entre el ancla y el terreno quede completamente llenado con la lechada de cemento, por lo tanto, de presentarse algún problema de taponamiento en la manguera por la que se está inyectando, se deberá inyectar por la otra manguera que servía de registro y certificación de llenado del barrano, abriendo un hueco junto a la manguera por la que inicialmente se estaba inyectando, el cual servirá como registro y certificación del llenado del barrano, sellandolo posteriormente a la certificación.

C) Procedimiento general para la colocación.

- 1.- Efectuar los barrenos del diámetro y longitud indicados en el patrón de anclaje requerido.
- 2.- Insertar el ancla en el barreno verificando con aire o con un alambre acerado insertado en el tubo testigo, que éste no se haya tapado.
- 3.- Sellar la boca del barreno.
- 4.- Efectuar la inyección de lechada.

D) Pruebas de control de anclaje.

- a) Pruebas de lechada de inyección.- A fin de poder garantizar la capacidad requerida de las anclas será necesario verificar la resistencia de las lechadas empleadas, para lo cual deberá tomarse cuando menos una muestra de cada 20 anclas inyectadas.

Cada muestra consta de 3 probetas, las cuales se probarán a edades de 1, 3 y 7 días; cada muestra deberá acompañarse de datos de fecha, localización y cadenamamiento en que se empleó la lechada. Para considerar adecuada la lechada empleada, la resistencia a la comprensión a 7 días de edad no deberá ser menor de 100 kg/cm<sup>2</sup>. La relación agua-cemento podrá variarse para satisfacer este requisito.

- b) Pruebas de extracción.- Para constatar la correcta colocación de las

anclas deberán efectuarse pruebas de extracción en un mínimo de 5 anclas de cada 100 colocadas. Este número podrá ser variado a juicio de la dirección técnica de la obra, de acuerdo con los resultados obtenidos en las primeras pruebas.

Preparación de anclas de prueba.- Las anclas de prueba se seleccionan arbitrariamente. De las anclas seleccionadas se retirará todo material extraño hasta descubrir el tapón del sello del barreno. Una vez descubierto el sello se colocará en el extremo de la barra el dispositivo de prueba que consta de un gato hidráulico para aplicar tensión al ancla y un sistema de apoyo de micrómetros para registrar los desplazamientos de dicha ancla durante la prueba.

Ejecución de la prueba.- La prueba se efectuará aplicando una tensión en la varilla con incrementos de carga de 2 ton. registrando la deformación correspondiente hasta llegar a 8 toneladas. A partir de 8 ton., los incrementos se reducen a 1 ton. hasta obtener la resistencia máxima del ancla.

Resultados esperados de la prueba de extracción.- Para considerar adecuada la colocación e inyección de las anclas, se realizan pruebas de extracción que deberán soportar sin producir falla, las tensiones que induzcan en las varillas los esfuerzos que se señalan enseguida a las edades de inyección correspondiente:

Edad de la inyección (Días)	Esfuerzo soportado sin falla (mínimo)
1	2/3 $f_y$ = 2800 Kg/cm <sup>2</sup>
3	1.0 $f_y$ = 4200 Kg/cm <sup>2</sup>
7	5/3 $f_y$ = 7000 Kg/cm <sup>2</sup>

#### IV.4 Especificaciones para la colocación de anclas.

Las especificaciones que a continuación se presentan son variables ya que cada empresa fabricante elabora las suyas.

##### IV.4.1 Perforación de los barrenos.

El diámetro de los barrenos de anclaje depende del tipo de ancla. Para las anclas de sostenimiento puntual o de tensión, es el diámetro de las conchas de expansión el que fija el diámetro del barreno de perforación; un juego de 2 a 4 mm debe considerarse para facilitar la penetración del ancla en el barreno (el diámetro del barreno es más o menos el doble de la barra de anclaje).

Para las anclas de sostenimiento repartido o de fricción, el diámetro

de los barrenos debe ser el de la barra de anclaje, aumentando de 4 a 8 mm para el confinamiento de la resina, y de 10 a 15 mm para el confinamiento del mortero o lechada de cemento. La técnica perfo requiere de diámetros especiales de barrenación.

Dentro de lo posible, es conveniente orientar los barrenos perpendicularmente al sistema principal de fracturas del macizo rocoso a fin de aumentar la fricción entre las discontinuidades.

Al término de la perforación, se debe limpiar el barreno con aire comprimido o con agua para asegurar una buena adherencia de la mezcla cementante a la pared del barreno de anclaje.

Cuando existe riesgo de caída de bloques durante las operaciones de anclaje es conveniente proyectar sobre la superficie excavada una capa delgada de 3 a 5 cm. de concreto con aditivo acelerante del fraguado. Esta operación se realiza antes de la perforación de los barrenos.

#### IV.4.2. Anclaje con resina.

Las resinas de tipo polyester proporcionan un anclaje a muy alta resistencia. La polimerización se obtiene por la mezcla dentro del barreno de los componentes introducidos bajo la forma de cartuchos plásticos.

Las cargas de resina se presentan en general en la forma siguiente:

- Una envoltura exterior que contiene la masilla, el acelerador y el estabilizador.
- Una envoltura interior que contiene el catalizador impregnado en arena.

Cuando se tienen pendientes muy fuertes, orientadas hacia arriba, en algunas ocasiones se utiliza una protección exterior (malla de plástico) provista de un collarín para retener las cargas dentro del barreno.

Las resinas presentan el problema del almacenamiento, ya que sus características pueden decrecer rápidamente con el tiempo, por lo que se recomienda utilizar cargas de resina frescas o cuando menos tener el cuidado de sacarlas del almacén únicamente en el momento de su colocación y regresar el sobrante inmediatamente.

Colocación de anclas con resina.- La colocación de anclas fijadas con resina es una operación delicada. El proceso de colocación es el siguiente:

- Una vez que se ha limpiado el barreno, se introduce una ancla del mismo diámetro hasta el fondo de éste para garantizar su rectitud y verificar que no existan obstáculos.

- Se introducen las cargas asegurándose de colocarlas hasta el fondo del barreno.
- Es necesario limpiar el ancla con un cepillo de fierro con el objeto de quitar el óxido y de esta forma obtener una buena adherencia de la resina.
- Posteriormente se introduce el ancla mediante un dispositivo especial.
- La introducción del ancla se realiza mediante un empuje y una rotación simultáneos.
- El empuje se debe regular con el fin de poder hincar la barra al fondo del barreno en menos de un minuto, tiempo suficiente para una buena mezcla del producto.
- Es importante vigilar durante el tiempo de colocación, que la máquina perforadora se encuentre en el eje del barreno.

En el caso de presencia de agua, el proceso de colocación de una ancla fijada con resina se complica.

#### IV.4.3. Anclaje con mortero.

Los morteros utilizados para el anclaje, en general se componen de cementos de alta resistencia y fraguado rápido.

Las proporciones utilizadas para la fabricación de estos morteros son las siguientes:

Dosificación en peso:	cemento	1.0
	arena fina	1.0
	agua	0.30 - 0.35

Una arena muy fina debe ser utilizada para facilitar la penetración del mortero en las fisuras e intersticios del terreno.

El mortero de anclaje deberá tener una contracción lo más baja posible o en su defecto ser expansivo.

La técnica de colocación del mortero dentro del barreno de anclaje define la proporción de agua.

En el caso de un mortero inyectado, la dosificación de agua óptima corresponde al valor mínimo impuesto para un buen funcionamiento de la planta de inyección. En algunos casos el empleo de aditivos será necesario para dar plasticidad al mortero.



La técnica Perfo.- El procedimiento que se sigue consiste en introducir en la barrenación un tubo cilíndrico seccionado longitudinalmente en dos partes (conchas) provistas de perforaciones laterales en número y dimensiones cuidadosamente estudiadas. Una varilla corrugada de diámetro apropiado se introduce en las conchas del tubo perforado previamente lleno de mortero. La barra del ancla sirva de pistón y empuja al mortero por los agujeros laterales, lo que asegura el llenado del espacio anular comprendido entre el ancla y la pared de la perforación.

#### IV.5. La técnica de preinyectado de mortero.

El proceso constructivo que se sigue es el siguiente:

- Primeramente se realiza la perforación y limpieza del barreno.
- Posteriormente se introduce hasta el fondo del barreno un tubo por medio del cual se inyecta el mortero mediante una bomba.
- Se coloca en la boca del barreno un anillo inflado de hule con el objeto de evitar la salida del mortero.

Cuando el barreno es horizontal o la consistencia del mortero es tal que no se cae aún en barrenos muy inclinados, no será necesaria la utilización de este dispositivo.

Una vez que ha sido inyectado el barreno, se introduce el ancla mediante el empuje producido por la mano y en algunas ocasiones con la

ayuda de un martillo vibrador en el último metro. Con la introducción del ancla se logra inyectar al terreno un volumen de mortero igual al volumen del ancla, obteniéndose así un mejor anclaje.

#### IV.6. Errores que hay que evitar durante la colocación del anclaje.

##### IV.6.1. Perforación de los barrenos.

Durante la realización de esta actividad los errores más comunes que se presentan son los siguientes:

- Perforaciones mal orientadas.
- Perforación de diámetros diferentes al requerido.
- Perforaciones de diámetro irregular (ovalación en la entrada), o muy profundos.
- Mala limpieza del barreno.

##### IV.6.2. Anclaje con barras.

a) Anclas de fricción.- Los errores importantes durante la colocación de anclas de fricción se presentan durante el anclaje y son los siguientes:

- Cuando la mezcla cementante es una resina y la colocación del ancla se realiza muy rápido, se produce un mal mezclado de las sustancias contenidas en los cartuchos.
- Introducción parcial del ancla en el barreno.
- Utilización de resina muy vieja o de mortero mezclado con mucha anticipación a la colocación.
- Colocación de un número insuficiente de cartuchos de resina.
- Empleo de mezclas cementantes de mala calidad.

#### IV.6.3. Colocación de placas de apoyo.

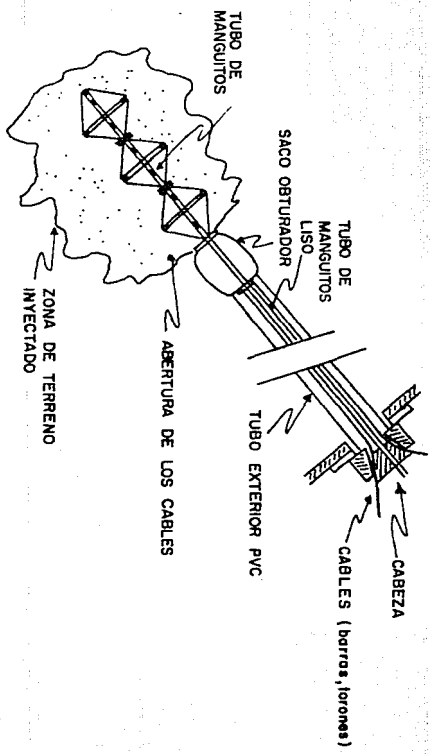
Es frecuente en la práctica que las placas de apoyo sean mal colocadas o sin contacto suficiente contra la pared de la formación, provocando un mal funcionamiento del ancla.

#### IV.7 Control de las anclas.

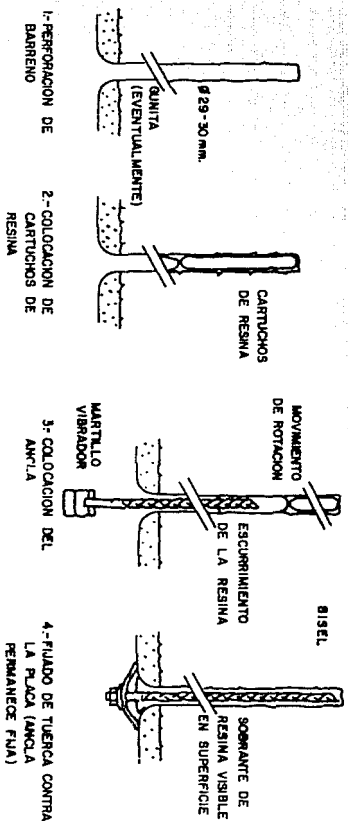
Con objeto de asegurar la calidad y buen funcionamiento de las anclas.

se realizarán diversos tipos de control:

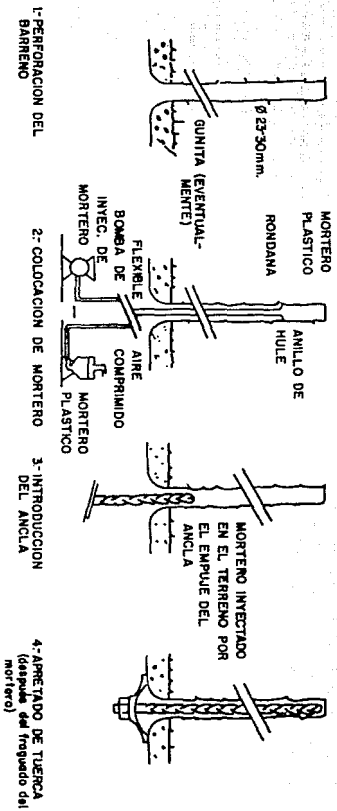
- Un control de calidad de los materiales que constituyen los elementos de una ancla. Es necesario realizar pruebas para analizar las propiedades mecánicas de las mezclas cementantes como los morteros y la lechadas utilizados.
- Un control estadístico de longitudes no fijadas de anclaje, para esto las placas de apoyo serán retiradas una por una, la longitud libre medida por medio de un alambre y las placas colocadas nuevamente en su lugar.
- Pruebas de extracción "in situ" sobre la fijación de las anclas
- Ensayes de extracción sobre las anclas pretensadas.



**Fig. IV-1 Croquis de un ancla solatencho I.R.P.**



**Fig. IV- 2 Esquema de colocación de ancla de fricción con resina.**



**Fig. IV-3 Esquema de colocación de un ancla confinada con mortero anclado.**

## C A P I T U L O V



## V. "ELECCION DE LOS DISPOSITIVOS DE ANCLAJE"

### V.1. Proceso general.

El objetivo de este capítulo es elegir el tipo de ancla adecuado que solucione un problema de estabilidad de un talud determinado, haciendo uso de un proceso que contemple las labores necesarias y suficientes para que la elección que se haga sea la adecuada.

Sin embargo, he querido presentar en este capítulo una visión más completa del proceso general que pienso se debe seguir para llegar a la solución de un problema de estabilidad de taludes.

Dicho proceso lo elaboro pensando que existen otro u otros que de igual forma dan solución al problema que nos atañe, pero que pueden presentar diferencia con el que ahora presenté, por lo anterior quiero aclarar que este trabajo representa tan solo una alternativa más de solución. Dentro del proceso general del que hablo, incluyo una primera fase que tiene como resultado seleccionar dentro de la gama de métodos de estabilización de taludes que existen, aquel que me resuelva en forma óptima el problema de estabilidad en cuestión.

Existen factores que son de considerarse y que en un momento dado influyen de alguna forma en la determinación que se toma sobre el método de estabilidad a emplear.

En esta primera fase del proceso general se describirán las labores que se tienen que realizar hasta llegar a elegir una solución. En el caso de que las anclas se eligieran como la solución para llevar a cabo la estabilización de un talud determinado, una segunda fase ha de realizarse, con lo cual se concluye el proceso general que aquí se menciona y se cumple el objetivo del capítulo.

Al igual que la primera, esta segunda fase tendrá que tomar en consideración la variedad de factores que pueden o no influir sobre la elección en el tipo de ancla.

Los caracteres de estos factores son de tipo técnico y económico y su importancia, cantidad e influencia va a depender de las características propias del problema.

Es importante señalar que los procesos antes citados se encuentran interrelacionados, ya que manejan aspectos que son comunes a ambos.

### V.1.1 Primera Fase

La primera de estas fases como ya se mencionó corresponde a la elección del método de estabilización adecuado para la solución de un problema de este género.

Las labores a realizar son las siguientes:

- 1.- Visita al lugar.
- 2.- Reconocimiento e identificación de la formación y materiales donde se encuentra el talud.
- 3.- Determinar la causa o causas que propician la inestabilidad del talud.
- 4.- Identificado el problema y las características del mismo, elegir el método de estabilización óptimo y más conveniente, tomando en consideración las recomendaciones que comunmente se hacen en un caso similar.

Mediante la descripción de cada una de estas labores se podrá observar como se va delineando el camino para llegar a una elección determinada.

- 1.- Visita al lugar.- Esta actividad es simple pues consiste en trasladarse al sitio donde se encuentra el talud en cuestión.
- 2.- Reconocimiento e identificación de la formación y materiales donde

se encuentra el talud. - Una primera identificación se tiene cuando se hace la visita al lugar y se explora éste. Tomando esta referencia y mediante el uso de una carta geológica que nos permite detectar la presencia de sedimentos, plegamientos, fallas, grietas, etc., es posible tener un mayor conocimiento e información del tipo de material y situación en que se encuentra el talud, completariamente será necesario y conveniente realizar sondeos de exploración y obtener muestras para conocer con detalle los materiales y llevar a cabo las pruebas necesarias que nos permitan corroborar el tipo o tipos de material que se está tratando y sus propiedades de calidad y resistencia.

Es en el laboratorio donde se obtendrán datos definitivos e indispensables para el trabajo del proyectista.

Es de considerarse un aspecto importante en relación al programa de muestreo, y consiste en llevar a cabo una correcta evaluación de la importancia de la obra por ejecutar, en relación con el costo de su correspondiente programa de exploración y muestreo, pues una obra de importancia grande ameritará un programa de una envergadura totalmente inadecuada para una obra menor. El tipo de obra representa también una norma de criterio, en relación, por ejemplo, con las consecuencias de su falla respecto a pérdidas en bienes o vidas; puede haber obras de poco costo cuyos requerimientos de seguridad y

por lo tanto de previsión, sean mucho mayores que en otras obras de mayor inversión presupuestal.

Es necesario se tome en cuenta que la magnitud del programa de exploración y muestreo, tanto en tiempo como en costo, esté acorde con el tipo de obra a ejecutar.

- 3.- Determinar la causa que provoca la inestabilidad del talud.- Las causas que provocan la inestabilidad de un talud y por consiguiente el deslizamiento del mismo, se pueden clasificar en externas e internas. Una descripción detallada de estas causas se encuentra en el capítulo uno.

Una vez que se analizan las posibles causas que podrían provocar una falla, es posible desarrollar un método de cálculo de estabilidad de taludes que nos permita visualizar la posibilidad de que se desarrolle un deslizamiento. El método debe seguir los siguientes tres pasos:

- a).- Se establece una hipótesis sobre el mecanismo de falla que se producirá. Ello incluye tanto la forma de la superficie de falla como una descripción cinemática completa de los movimientos que se producirán sobre ella y un análisis detallado de las fuerzas motoras.

b).- Se adopta una ley de resistencia para el suelo. Con base en esta ley se podrán analizar las fuerzas resistentes disponibles.

c).- Se establece algún procedimiento matemático para definir si el mecanismo de falla propuesto podrá ocurrir o no bajo la acción de las fuerzas motoras, venciendo el efecto de las fuerzas resistentes.

4.- La última labor por realizar de esta fase se sustentará, para llevarse a cabo, en el análisis de las labores anteriores y como ya se mencionó en la consideración de los factores que aunque independientes del proceso son de significativa influencia.

Esta primera parte de la fase I que se ha desarrollado, es aplicable a los suelos, a continuación se presenta la segunda y última parte de esta fase I, en la cual se desarrollará lo relativo a rocas.

Las actividades son las siguientes:

1.- Visita al lugar.

2.- Recopilación preliminar de información geológica, de fotos aéreas, levantamientos de campo y muestras de sondeos.

3.- Identificar las discontinuidades existentes en el talud, así como la posible falla crítica que pudiera presentar dicho talud.

4.- Reanalizar las áreas críticas del talud.

5.- Elegir el método de estabilización más adecuado.

A continuación se presenta una breve descripción de estas actividades:

1.- Esta actividad consiste simplemente en trasladarse al sitio donde se encuentra ubicada la formación por estabilizar.

2.- Una vez que ha sido recopilada la información necesaria, se procede a realizar un análisis preliminar de la información geológica con el objeto de poder establecer patrones geológicos principales. Examinando dichos patrones es posible determinar las posibilidades de desarrollo de las discontinuidades.

3.- Esta actividad implica la realización de una investigación geológica detallada de áreas críticas del talud, basados en levantamientos de campo y muestras de sondeo directos.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Así también, será necesario llevar a cabo pruebas de esfuerzo cortante de superficies discontinuas, particularmente si están cubiertas de arcilla o son superficies de deslizamiento.

Por último se establecerá mediante perforaciones los patrones de flujo y presión de agua subterránea, con objeto de poder medir los cambios en los niveles freáticos.

4.- Esta actividad se hará basándose en la información detallada de la anterior, utilizando las técnicas de límite de equilibrio para deslizamientos circulares, planos o de curva. También se examina la posibilidad de otro tipo de fallas inducidas por intemperismo, caídos o daños causados por explosión.

5.- Tomando como base el análisis de las anteriores actividades, se elige el método de estabilización adecuado.

#### V.1.2 Segunda fase.

Con la realización de esta fase, se completa el proceso general ya mencionado y se cumple con el objetivo de este capítulo que es elegir un determinado tipo de ancla para resolver un problema de estabilidad de un talud determinado.



Las labores a realizar son las siguientes:

- 1.- Determinar las cargas actuantes que propician la inestabilidad del talud.
- 2.- Proponer un patrón y tipo de anclaje.
- 3.- Revisar que el ancla cumpla con los requisitos técnicos (condición de estabilidad deseada). En caso de que no se cumpla con dichos requerimientos, realizar un proceso iterativo hasta lograrlo.
- 4.- Analizar las facilidades para su colocación en el sitio y el costo que implica dicha colocación.
- 5.- Determinar el tipo de ancla adecuada tomando en consideración las recomendaciones que se hacen.

A continuación se presenta la descripción de estas labores:

- 1.- Determinación de las fuerzas actuantes.- Este punto es importante ya que la elección de un determinado tipo de ancla va a depender en gran medida de la capacidad de ésta para sostener una formación inestable.

La capacidad de trabajo de una ancla va a estar en función del tipo de material que las constituya, así se tiene que una ancla constituida por madera es de menor capacidad que una cuyo material es una

varilla de acero y a su vez ésta es de menor capacidad a las constituidas por torones. observandose así, que la capacidad de las anclas va a ser determinante para su elección.

La determinación de las fuerzas actuantes se lleva a cabo de las siguiente forma:

- Definir el límite entre las zonas estables e inestables de la formación.
- Determinar el peso de la zona inestable. Cuando se trata de roca se presentan bloques aislados.
- Determinado el peso que se tendrá que soportar, se diseña un patrón de anclaje, mediante el cual se obtiene el volumen y peso de la formación que le corresponde soportar a cada ancla.

2.- Proponer el patrón y tipo de anclaje.- Se realiza una primera proposición del tipo y número de anclas. Dicha proposición es hecha por el calculista.

El número de anclas necesarias para estabilizar una formación se obtiene dividiendo la fuerza necesaria que debe proporcionar el anclaje para soportar la zona inestable entre la capacidad de trabajo de una ancla.

Determinado el número de anclaz, se diseña un patrón de anclaje con el objeto de obtener cual deberá ser la capacidad propia de cada ancla que en su conjunto soportará la formación inestable.

3.- La revisión de la condición de seguridad del talud consistirá en establecer una relación entre las fuerzas actuantes y resistentes determinadas en los pasos anteriores y de esta forma verificar si la condición de seguridad requerida se ha cumplido, de no ser así, se planteará un nuevo patrón de anclaje y se realizará la revisión antes descrita. Este proceso se repite hasta que se logra la condición de seguridad deseada.

4.- Facilidades para su colocación en el sitio.- Aunque el proceso de colocación de las anclas es muy similar para todos los tipos, existen particularidades propias de las anclas, que hacen que las facilidades para su colocación sean diferentes en cada caso.

Por otra parte las condiciones de la formación inestable pueden en un momento dado facilitar o complicar la colocación del ancla.

En algunas ocasiones la elección del tipo de ancla va a estar regida o condicionada por las situaciones que se presentan, es decir, se optará por un determinado tipo de ancla que cumpla con los requerimientos técnicos pero primordialmente que su colocación en el sitio sea con facilidad.

En función de los cuatro pasos anteriores y tomando en consideración las recomendaciones que para un caso similar se hacen, se lleva a cabo la elección de un determinado tipo de ancla, con el cual se finaliza el proceso general planteado y se cumple con el objetivo del capítulo.

## V.2 Factores que influyen en la elección del método y tipo de ancla adecuados.

El tiempo y el costo son dos factores que en más de los casos contribuyen o determinan cual será el método de estabilización conveniente. Esta situación se puede dar en cualesquiera operaciones donde su desarrollo implique un tiempo y un costo y a todo lo largo de un proceso, siendo este un ejemplo claro, pues desde la realización del programa de operaciones y muestreos se presenta esta situación.

Por otra parte es importante tener en cuenta la función que está desarrollando o desarrollará el talud dentro de la formación, pues es lógico pensar que para cualquier situación lo que se requiere es lograr estabilizar el talud de la manera más segura, evitando que ocurra la falla, sin embargo, para algunos casos el grado de seguridad solicitado será extremo, por lo tanto el método de estabilización que se emplee no debe permitir ninguna deformación.

Otro aspecto de gran consideración y que desde el inicio del proceso representa una restricción en relación a la toma de decisión sobre el método de estabilización que se empleará, es la ubicación del talud y el espacio disponible para llevar a cabo la estabilización del mismo.

Un ejemplo claro de esta situación se da cuando la formación inestable se encuentra en la zona urbana y colinda con una vialidad impidiendo de esta forma un abatimiento del talud, pensando que ésta fuera la solución que se pensará llevar a cabo.

Finalizando el proceso podemos concluir que la elección no solo va a consistir en la ejecución de las labores que comprenden al mismo, si no también y muy importante, es requisito considerar la serie de factores que aunque independientes de la ejecución del proceso, están implícitos en el mismo como se pudo observar.

Al igual que en la fase I, es requisito considerar la existencia de factores que influyen en la elección de un tipo de ancla.

Cuando se trata de anclas de tensión y el dispositivo de anclaje que se emplea es un expansor mecánico y el material de la formación donde se pretende encajar las conchas del expansor es una roca muy dura, difícilmente se encajará dicho dispositivo, condicionandonos al empleo de otro tipo de ancla cuyo dispositivo de anclaje sea un bulbo inyectado con una mezcla cementante.

Un factor importante y que necesariamente debe tomarse en cuenta, es el costo de las anclas y su colocación. Esta consideración pienso que se debe hacer hasta el final del proceso. El aspecto técnico debe ser re- gidor en todo momento, sin embargo, al final tendrá que realizarse una evaluación tomando en consideración el aspecto económico, con el objeto de elegir cual es el tipo de ancla más adecuado.

## C A P I T U L O   V I

## VI. "EVALUACION DEL EMPLEO DE LOS DISPOSITIVOS DE ANCLAJE".

En el capítulo anterior, presenté un procedimiento mediante el cual se analizan las posibles causas que provocan inestabilidad en un talud, así como también un procedimiento mediante el cual se puede elegir el tipo de ancla adecuado, tomando en consideración el supuesto que fueran las anclas al método de estabilización elegido.

El objetivo de este capítulo VI consiste en evaluar el empleo de las anclas tomando en consideración sus aspectos más relevantes como son su patrón de anclaje y procedimiento de colocación, y aquellos otros en función de los cuales, en conjunto, está el costo de la solución.

Es importante señalar, que el hecho de no haber presentado diversas alternativas para la solución de un problema de estabilidad de un talud, no quiere decir que las anclas representen el método de estabilidad único y más adecuado, es tan solo que, el propósito de este trabajo es analizar una de las posibles alternativas de solución, así como sus ventajas y desventajas.

Así también será necesario el que una vez seleccionadas las anclas, como una de las posibles alternativas de solución, se evalúen mediante la comparación contra las demás soluciones, para que de esta forma se pue-



da decidir cual de ellas representa la solución más adecuada y conveniente desde los puntos de vista técnico y económico.

En capítulos anteriores he presentado las propiedades y características de diversos tipos de anclas, su funcionamiento, procedimiento de colocación y mecanismo a seguir para su elección, conceptos que me han permitido forjar un conocimiento, mediante el cual es posible llevar cabo la evaluación de la solución propuesta.

Con el propósito antes descrito, a continuación se describen los aspectos que considero, representan la base para la evaluación del sistema de anclaje que se haya adoptado como alternativa de solución.

#### **VI.1 Aspectos a considerar en la evaluación del empleo de una ancla.**

En esta etapa se mencionan los aspectos que repercuten mayormente en el aspecto económico con el objeto de poder realizar la evaluación del empleo de anclas como solución.

Los aspectos considerados son los siguientes:

- Patrón de anclaje.
- Proceso de colocación y constructivo en general.

- Instrumentación y mantenimiento del ancla.

El patrón de anclaje que se define para la resolución de un problema de estabilidad de talud resulta significativo, ya que éste se encuentra determinado por el tipo y capacidad del ancla elegida, situación que nos define el número de anclas por colocar y el procedimiento constructivo de colocación correspondiente, el cual es determinante en el costo total que implica optar por el empleo de anclas.

Como todos sabemos, el patrón de anclaje varía de acuerdo a las características de inestabilidad que presente una formación, por lo cual, para un determinado problema de estabilidad, se parte de un determinado patrón de anclaje, el cual puede variar y se pueden proponer varias alternativas que resuelvan de igual forma el problema de estabilidad planteado.

Por lo tanto, las variaciones en el patrón de anclaje, se refieren a que el número de las anclas así como los materiales que las constituyen sean diferentes y por consiguiente al costo correspondiente.

De esta forma se tiene que en algunos casos, el patrón de anclaje propuesto comprende un número elevado de anclas, representando un costo muy alto debido al costo propio de las anclas y al del proceso constructivo que implica, razón por la cual se proponen nuevas alternati-

vas, siendo una de ellas el empleo de un menor número de anclas con mayor capacidad, con el fin de disminuir el costo del proceso constructivo de colocación requerido.

Cabe señalar que existirán casos en los que las características propias del talud inestable no permitan la consideración de diversas alternativas de solución.

El siguiente aspecto que ha de tomarse muy en cuenta, en el momento de evaluar el empleo de un tipo de ancla determinado, es el proceso constructivo que implica la colocación de las anclas.

Cada tecnología y tipo de ancla representa un proceso constructivo y un costo diferentes.

Además del tipo y capacidad de ancla seleccionados, existen otras situaciones que es necesario considerar y que en la mayoría de los casos son las que determinan si el empleo y colocación de un determinado tipo de ancla resulta más o menos costoso; entre éstos los más importantes son las siguientes:

- La ubicación de la formación inestable.- Esta situación resulta obvia ya que entre más alejada se encuentre la formación por estabilizar, más elevado será el costo de transportación de maquinaria, equipo y

mano de obra requeridos.

- Acceso a la formación.- Cada formación presenta características diferentes por lo tanto el grado de dificultad en el proceso de colocación de las anclas lo es también, por las dificultades de acceso del equipo de perforación e inyección, en su caso, ya que, se tiene que en algunos casos el ancla se deberá colocar a poca altura con respecto al acceso al talud; existiendo casos en los que la colocación de las anclas implicará el empleo de un sistema de andamiaje para llegar al sitio de su colocación, reflejándose toda esta problemática en el costo de la solución.
- Cada tecnología es diferente en cuanto a los materiales que utiliza para la fabricación del ancla y el proceso constructivo que requiere su colocación; este es un aspecto que debe tomarse en cuenta, pues como existen anclas de gran capacidad, que demandan procesos constructivos muy sofisticados y mano de obra muy especializada y por consiguiente su costo resulta muy elevado, existen también anclas cuya capacidad es baja, su proceso de colocación sencillo y por lo tanto no requiere mano de obra muy especializada, reduciendo en un menor costo.

Finalmente en relación a la instrumentación y mantenimiento del sistema de anclaje adoptado, no en todos los casos es necesaria su utilización.

La instrumentación es un recurso de verificación y observación de los resultados y comportamiento de la solución adoptada, cuyo empleo deriva en un alto costo, sin embargo, no son muchos los casos en los que se utiliza, este hecho va a estar en función de la importancia y características de la formación por estabilizar.

Por lo que toca al mantenimiento, algunas anclas se colocan provisionalmente, mientras que otras son de carácter permanente, siendo éstas las que en algunos casos requieren mantenimiento con el objeto de garantizar su buen funcionamiento y estado físico.

Este concepto representa un costo adicional que ha de sumarse a todos los anteriores con el objeto de obtener no solo el costo total del ancla y su colocación sino también el que demandara durante su vida útil, y de esta forma poder evaluar el empleo de esta solución.

## C A P I T U L O   V I I

## VII. "CASOS DE TALUDES ESTABILIZADOS CON ANCLAS".

En este último capítulo se muestra un ejemplo claro y sencillo de un talud cuyo problema de estabilidad fue resuelto con anclas.

En primer término se presenta una breve descripción de las condiciones de estabilidad del talud y del procedimiento constructivo empleado para la colocación de las anclas.

Posteriormente se presentan la revisión del F.S. en función un patrón de anclaje propuesto, y finalmente el diseño de las anclas.

### VII.1 Descripción.

De acuerdo con el levantamiento físico de las condiciones del talud, puede describirse como malo, de estabilidad baja, con potenciales desprendimientos de grandes bloques o falla de algunos planos.

La figura VII-1 muestra una evidencia clara de los potenciales bloques y planos inestables. En la figura VII-2 se aprecia el aspecto general del talud y con detalle en las figuras VII-3, VII-7 y VII-8.

## VII.2 Tratamiento.

El criterio para lograr una estabilidad adecuada del talud se basa en el análisis tanto de los bloques potenciales inestables sobre el corte, como en la revisión de las condiciones de estabilidad general de la masa de roca que forma el talud.

El tratamiento recomendado se describe a continuación:

- 1.- Limpieza general del material suelto y remoción de bloques inestables marcados en el mosaico de trabajo de la figura VII-3 usando la plantilla de la figura VII-4.
- 2.- Lanzado inicial de concreto con espesor aproximado de 2 cm, con objeto de sellar grietas y proporcionar una superficie de trabajo segura y limpia.
- 3.- Colocación de malla electrosoldada, usando anclaje superficial espaciado conforme con los requerimientos de la obra.
- 4.- Barrenación y colocación de los anclajes señalados en el mosaico de trabajo usando las plantillas de las figuras VII-4 y VII-5, conforme con las indicaciones descritas en el plano de la figura VII-6.



5.- Lanzado de la capa final de concreto, hasta alcanzar un espesor promedio de 10 cm. Esta actividad podrá ser simultánea con las señaladas en el punto 4.

6.- Integración del remate de las varillas de los anclajes puntual y sistemático, con la capa complementaria de concreto lanzado, en caso de que el anclaje se realice posteriormente al lanzado complementario.

### VII.3 Cálculo y diseño del ancla.

La figura VII-9 nos servirá de apoyo, ya que en ella se muestran las condiciones de estabilidad del talud.

Angulo de fricción del material  $\phi = 36^\circ$

Angulo critico de falla  $\psi = 45 + \frac{\phi}{2} = 45 + 18 = 63^\circ$

Angulo del talud  $\theta = \tan^{-1} 5 = 78.7^\circ$

Peso de la cuña

$$W = \frac{b \cdot h}{2} \cdot \gamma$$

donde:

W : peso de la cuña.

b : longitud de la parte alta de la cuña.

h : altura de la cuña.

$\gamma$  : peso volumétrico del material.

$$b = 11 (\cos 63^\circ - \cos 78.7^\circ) = 2.84 \text{ m}$$

$$2.84 \times 11$$

$$W = \frac{\quad}{2} \times 2.2 = 34.36 \text{ ton/m}$$

2

Fuerza sísmica

$$F_s = CW = 0.16 \times 34.36 = 5.5 \text{ ton}$$

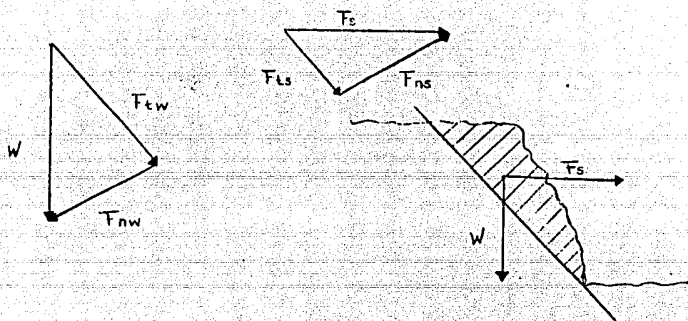
donde:

F<sub>s</sub> : fuerza sísmica.

C : factor sísmico.

W : peso de la cuña.

Diagrama de cuerpo libre:



Cálculo de componentes

$$\begin{aligned}
 F_{tw} &= W \operatorname{sen} \psi = 34.36 \operatorname{sen} 63^\circ = 30.61 \text{ ton/m} \\
 F_{ts} &= F_s \cos \psi = 5.5 \cos 63^\circ = 2.50 \text{ ton/m} \\
 F_{nw} &= W \cos \psi = 34.36 \cos 63^\circ = 15.60 \text{ ton/m} \\
 F_{ns} &= F_s \operatorname{sen} \psi = 5.5 \operatorname{sen} 63^\circ = 4.90 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

donde:

$F_{tw}$  : componente tangencial del peso de la cuña  $W$ .

$F_{ts}$  : componente tangencial de la fuerza sísmica  $F_s$ .

$F_{nw}$  : componente normal del peso de la cuña  $W$ .

$F_{ns}$  : componente normal de la fuerza sísmica  $F_s$ .

## Estabilidad

$$F.S. = \frac{\mu (F_{nw} - F_{ns})}{F_{tw} + F_{ts}}$$

donde:

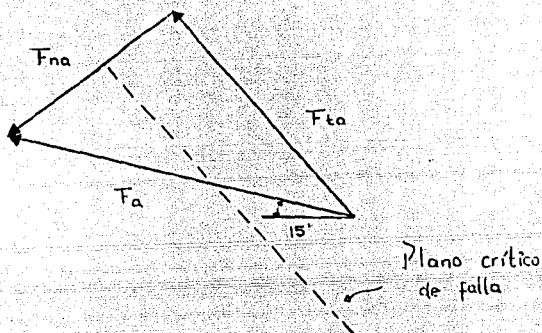
F.S. : factor de seguridad.

$\mu$  : coeficiente de fricción.

$$\mu = \tan \phi = \tan 36^\circ = 0.72$$

$$F.S. = \frac{0.72 (15.6 - 4.9)}{30.61 + 2.50} = 0.23 \text{ No es suficiente}$$

Se propone anclaje sistemático para su tratamiento:



donde:

$F_a$  : fuerza proporcionada por el ancla. (Capacidad útil).

$F_{ta}$  : componente tangencial de la fuerza  $F_a$ .

$F_{na}$  : componente normal de la fuerza  $F_a$ .

Como solución se propone un sistema de anclaje basado en 4 anclas con 15° de inclinación, colocadas a cada 1.8 m.

Resistencia de una ancla de 1" de diámetro.

$$a = 5.07 \text{ cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_a = 5.07 \times 4200 \times 0.75 = 15.970 \text{ Kg.}$$

donde:

a : área efectiva de la varilla del ancla.

fy : esfuerzo de fluencia del acero.

fa : capacidad útil del ancla.

Componentes

$$Fna = Fa \sin (63-15)^{\circ} \times 4/1.8 = 26.42 \text{ ton/m}$$

$$Fta = Fa \cos (63-15)^{\circ} \times 4/1.8 = 23.79 \text{ ton/m}$$

$$F.S. = \frac{\mu (Fnw - Fns + Fna) + Fta}{Ftw + Fts}$$

$$F.S. = \frac{0.72(15.6 - 4.9 + 26.42) + 23.79}{30.61 + 2.50} = 1.53 > 1.5 \text{ bien}$$

Diseño de las anclas.

Capacidad útil del ancla  $Fa = 16 \text{ ton.}$

Capacidad última del ancla  $Fu = afy = 5.07 \times 4200 = 21\,294 \text{ Kg}$

Longitud de anclaje.

- Por adherencia roca-mortero.

$$f'c = 150 \text{ Kg/cm}^2$$

mortero de relleno

$$U = 0.25 \sqrt{f'c}$$

esfuerzo cortante permisible

$$U = 0.25 \sqrt{150} = 3.06 \text{ Kg/cm}^2$$

donde:

$U$  : resistencia permisible a cortante en el concreto.

$f'c$  : resistencia a la compresión simple del concreto.

$$F_u = L_a \cdot P \cdot U$$

donde:

$F_u$  : capacidad última del ancla.

$L_a$  : longitud del ancla.

$P$  : perímetro de la varilla del ancla.

$U$  : resistencia permisible a cortante en el concreto.

Diámetro del barreno = 2"

$$F = 2 \cdot 2.54 \cdot \pi = 15.96 \text{ cm}$$

$$L_a = F_u / P \cdot U$$

$$L_a = 21294 / (15.96 \times 3.06) = 436 \text{ cm}$$

Longitud total

$$L = L_a + e$$

$$e = \text{espesor de la cuña} = 1.5 \text{ m}$$

$$L = 436 + 150 = 586 \text{ cm}$$

- Revisión de la adherencia acero-mortero

$$U_p = \frac{3.2}{\phi} f'_c$$

donde:

$U_p$  : resistencia permisible a la adherencia entre el acero y el concreto.

$\phi$  : diámetro de la varilla del ancla.

$f'_c$  : resistencia a la compresión simple del concreto.

$$U_p = \frac{3.2}{2.54} \cdot 150 = 15.43 \text{ kg/cm}^2$$



$$L_a = f_u \cdot p \cdot U_c$$

$$p = 2.54 \sqrt{f_c} = 7.98$$

$$L_a = 21\,294 / (7.98 \times 15.43) = 173 \text{ cm}$$

$$L_a = 173 + 150 = 323 \text{ cm}$$

Plantilla de anclaje: Se utilizará una plantilla de anclaje con 4 anclas a cada 1.8 m con varillas de 1" embebidas en barrenos de 2" con mortero f'c = 150 Kg/cm<sup>2</sup> y 6 m de longitud.

#### ANCLAJE DE BLOQUES.

Bloque A:

Dimensión:  $V = abcf$

donde:

V : volumen del bloque inestable.

a,b,c: dimensiones del bloque inestable.

f : factor de forma.

$$V = 3.0 \times 3.0 \times 2.5 \times 0.7 = 15.75 \text{ m}$$

$$W = V \times \gamma$$

donde:

W : peso del bloque inestable.

V : volumen del bloque inestable.

$\gamma$  : peso volumétrico del material.

$$W = 15.75 \times 2.0 = 31.5 \text{ ton}$$

$$Fz = 0.16 \times 31.5 = 5.0 \text{ ton}$$

Fz = fuerza sísmica.

$$F.S. = \frac{\mu (F_{nw} - F_{nz} + F_{na})}{F_{tw} + F_{tz}} \geq 1.5$$

donde:

$\mu$  : coeficiente de fricción.

F<sub>nw</sub> : componente normal del peso W del bloque.

F<sub>nz</sub> : componente normal de la fuerza sísmica F<sub>z</sub>.

F<sub>na</sub> : componente normal de la fuerza F<sub>a</sub>.

F<sub>tw</sub> : componente tangencial del peso W del bloque.

F<sub>tz</sub> : componente tangencial de la fuerza sísmica F<sub>z</sub>.



Fig. VII-1 Vista superior del talud

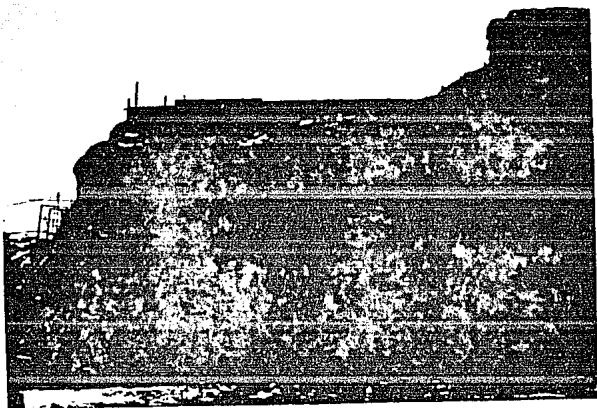
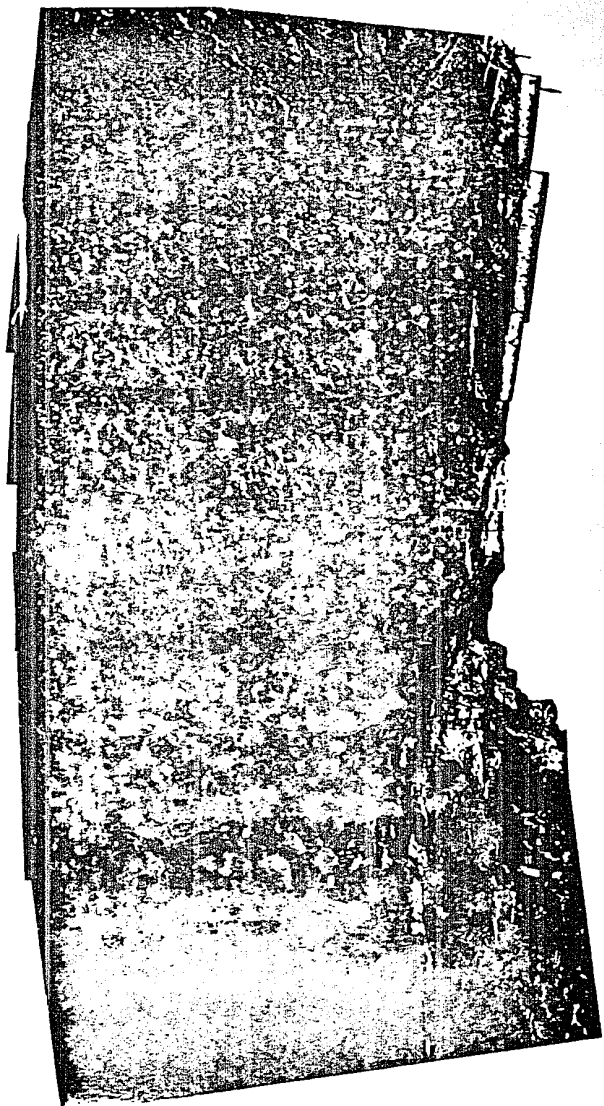


Fig. VII-2 Vista frontal del talud.

Fig. VII-3 Mosaico de Trabajo.



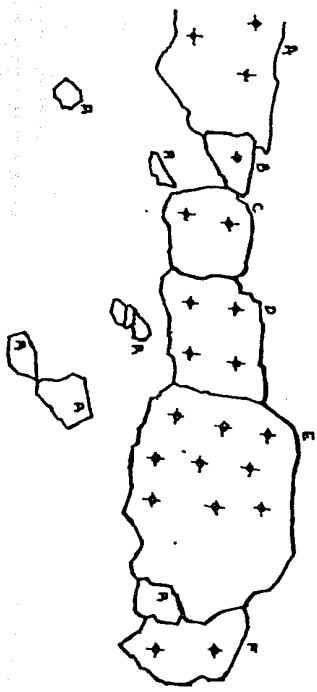
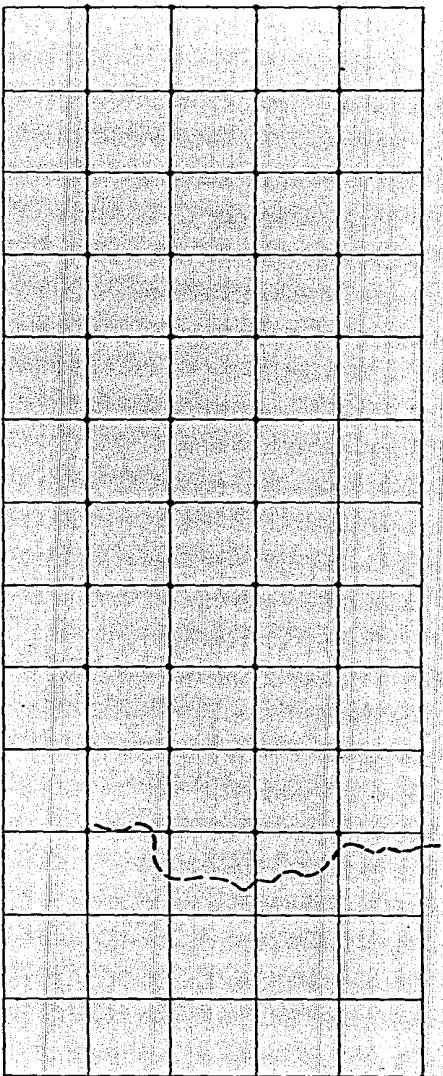


Fig. VII-4 Planilla.

- A-F Bloques Anclados
- R Bloques por remover
- ⊕ Anclaje puntual

Fig. VII-5. Piantilla.

Anclade Sistemotico



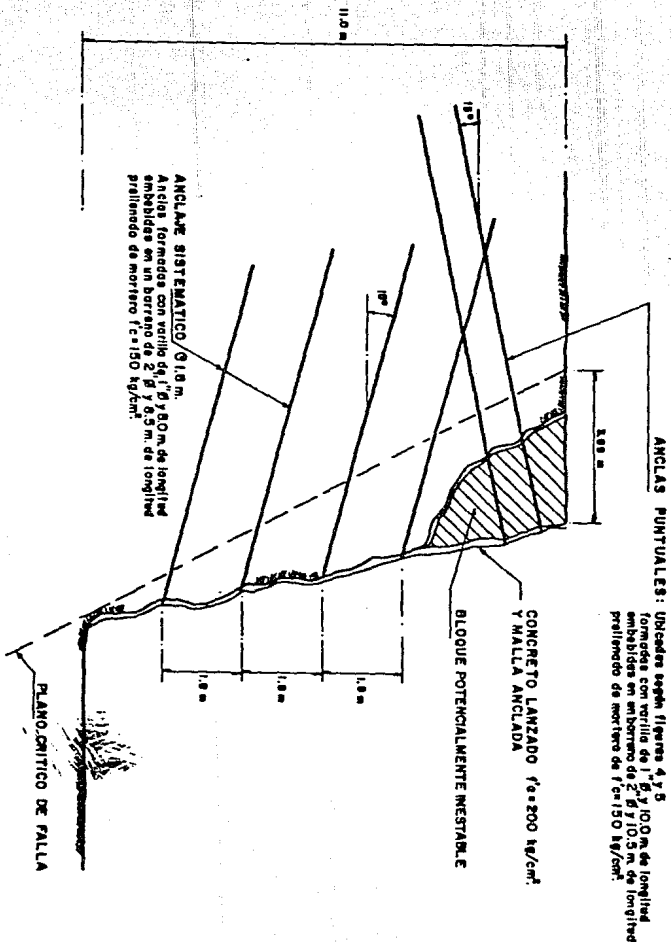


Figura VII-6



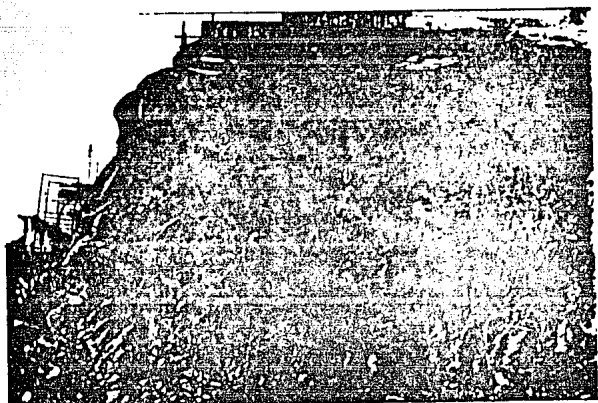


Fig. VII-7 Foto de apoyo.

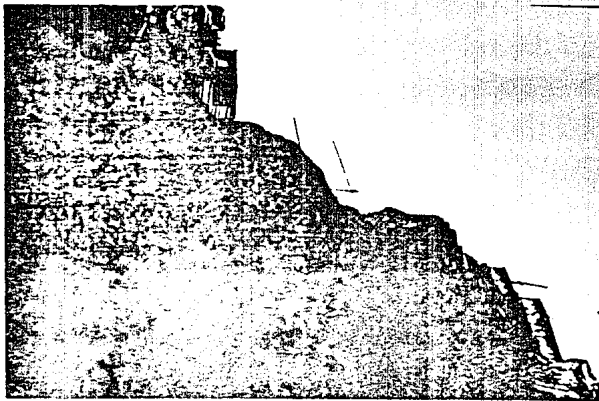
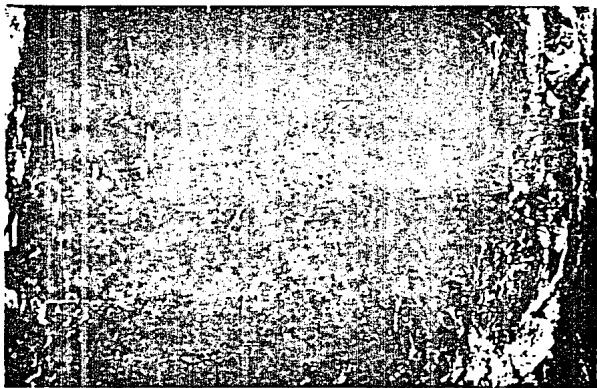
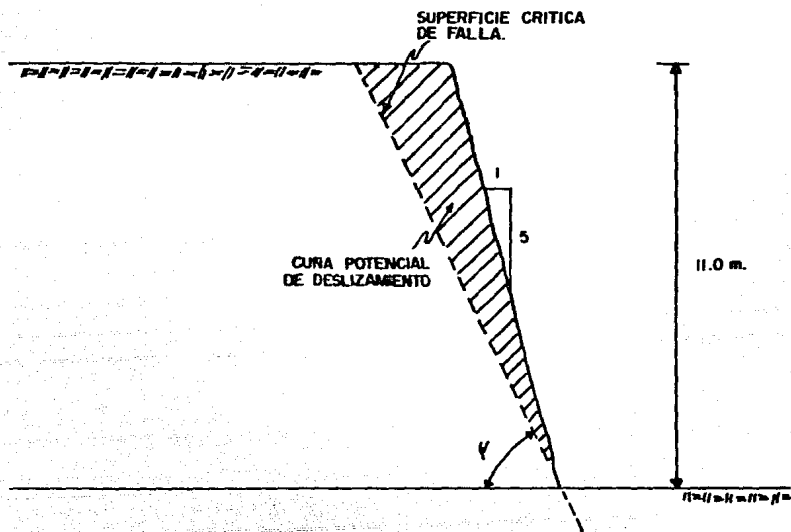


Fig. VII-8 Fotos de apoyo.



**Fig. VII- 9 Características del talud inestable.**

## C O N C L U S I O N E S Y R E C O M E N D A C I O N E S

### Conclusiones.

Las anclas son utilizadas en un mayor porcentaje para estabilizar o reforzar formaciones compuestas por roca intacta. Sin embargo, su empleo se ha extendido a formaciones mucho más fragmentadas y meteorizadas y también a suelos, propiamente dichos.

El funcionamiento de una ancla es comparado con la función de refuerzo que desempeña el acero en una u otras situaciones, debido en principio a que éstas generalmente están formadas por este material y por la similitud que guarda una ancla instalada con el acero, tal es el caso de una losa de concreto armado.

Para las anclas la capacidad de trabajo establecida es de  $2/3$  de los esfuerzos al límite elástico.

Cuando se trata de anclas de tensión empotradas con un expansor mecánico, su capacidad de trabajo no deberá exceder de  $2/3$  partes de la menor de las capacidades definidas para el expansor o para la fuerza que

Provoca un esfuerzo igual al límite elástico en el área crítica de la varilla.

Las restricciones propias de las anclas dependen de los materiales que las constituyen, de su mecanismo de acción y de las características del material donde se instalan.

El proceso constructivo que ha de desarrollarse para colocar una ancla, resulta muy elaborado y complicado y requiere de cuidados extremos, ya que la mínima falla, repercute considerablemente en su funcionamiento.

Es el proceso constructivo de una ancla el que marca la pauta en lo que se refiere al costo que implica su empleo.

Para la elección del tipo de ancla adecuado es necesario se lleve a cabo un procedimiento que contemple las siguientes actividades: determinación de las cargas actuantes que propician la inestabilidad en un talud, proposición del patrón de anclaje, revisión de la condición de seguridad del talud considerando la fuerza proporcionada por las anclas, y análisis de las facilidades para su colocación el sitio.

Aspectos como el patrón de anclaje, proceso constructivo de colocación e instrumentación y mantenimiento deben ser considerados para llevar a cabo la evaluación del empleo de las anclas.

## Recomendaciones.

Con el objeto de poder evaluar de una manera más completa el empleo de las anclas como solución a un determinado problema de estabilidad de taludes, se recomienda se haga una comparación contra otros métodos de estabilización desde los puntos de vista técnico y económico.

En relación al tipo de las anclas, en este trabajo se presentó tan solo algunos de la gran cantidad y variedad que existen, obedeciendo esto a los alcances que se fijaron y a las limitantes que se tienen, razón por la cual se recomienda realizar una investigación más completa con el objeto de contar con un panorama más amplio y de esta forma tener más bases para realizar la elección del tipo de ancla más adecuado.

## B I B L I O G R A F I A

- Juárez Badillo, Rico Rodríguez. "Mecánica de Suelos" Tomo I. Tercera Edición. Editorial Limusa.
- Karl Terzaghi (1967): "Soil Mechanics in Engineering Practice". Second Edition. Wiley International Edition.
- Rico Alfonso, del Castillo Hermilo. "La Ingeniería de Suelos en las vías terrestres". Volumen 1. Primera Edición. Editorial Limusa.
- Rico Alfonso, del Castillo Hermilo. "La Ingeniería de Suelos en las vías terrestres". Volumen 2. Primera Edición. Editorial Limusa.
- Hoek Evert, Bray John. "Rock slope engineering". Revised third Edition. The Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Manual de diseño de obras civiles. Sección Geotecnia, tema 3, capítulo 5. "Tratamiento de macizos rocosos". Editado por la Comisión Federal de Electricidad a través del Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- Manual de diseño de obras civiles. Sección Geotecnia, tema 3, capítulo 1. "Estabilidad de Taludes". Editado por la Comisión Federal de Electricidad a través del Instituto de Investigaciones Eléctricas.

- Diversos Autores. Simposio. "La Mecánica de rocas en México" (1982). Sociedad Mexicana de Mecánica de rocas, A. C.
- Hobst L., Zajic J. "Anchoring in rock". Editorial Elsevier.
- Beer y Jhonston. "Mecánica Vectorial para Ingenieros". Editorial Limusa (1982). Tercera Edición.
- Hock E., Brown E. T. "Excavaciones Subterráneas en roca". Editorial Mc Graw-Hill. Primera Edición.
- Bello Maldonado, Arturo. "Soporte de excavaciones subterráneas con anclas de fricción". Geosistemas S. A. Artículo
- "Le renforcement des massifs rocheux par armatures passives". Par un groupe français. Artículo.
- Logeais, Louis. "Les tirants d' ancrage la nouvelle edition des recommandations". Artículo
- Bachacou, Lallement B. (1972). "Contribution a l'etude de voies bouillonnées en terrain houiller". These, Nancy.



- Franklin J. A., Wood field P. F. (1971). "Comparison of a polyester resin and a mechanical rock bolt anchor". Transactions/section A of the Intitution of Mining and Metallurgy. Volumen 80.
- "El sistema de presfuerzo B. B. R. V." Prêt S. A. Articulo.
- "Sistemas de anclaje en roca". Geosistemas, S. A. Folleto.