



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ARAGÓN"**

**"FUNDAMENTOS GENERALES PARA  
CONSTRUCCIÓN CON EL USO DE SISTEMAS DE  
ANCLAJE"**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**I N G E N I E R O C I V I L**  
P R E S E N T A :  
**ISRAEL HERNÁNDEZ ZUÑIGA**

**ASESOR:  
ING. GABRIEL ÁLVAREZ BAUTISTA**

**MÉXICO**

**2003**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCIÓN

ISRAEL HERNANDEZ ZUÑIGA  
Presente

Con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobado su tema de tesis y asesor.

TÍTULO:

"FUNDAMENTOS GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN CON EL USO DE SISTEMAS DE ANCLAJE"

ASESOR: Ing. GABRIEL ÁLVAREZ BAUTISTA

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, México, 2 de octubre de 2003.

LA DIRECTORA

  
ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



  
C p Secretaría Académica  
C p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil  
C p Asesor de Tesis

LTG/AIR/2003



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES ARAGÓN - UNAM

JEFATURA DE CARRERA DE  
INGENIERÍA CIVIL

ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ  
Directora de la Escuela Nacional  
de Estudios Profesionales Aragón  
Presente

Por medio del presente, me permito comunicar a usted que revisé la TESIS titulada:  
"FUNDAMENTOS GENERALES PARA CONSTRUCCION CON EL USO DE  
SISTEMAS DE ANCLAJE".

Que presenta el (la) Pasante: HERNANDEZ ZUÑIGA ISRAEL

Con Número de Cuenta: 09512864-3

Para obtener el título de: INGENIERO CIVIL

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgo mi VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, Estado de México, a 19 de Noviembre de 2003

REVISOR DE TESIS

Ing. García Cuevas Pascual

Vo. Bo

ING. MARTÍN CORTIZ LEÓN  
JEFE DE CARRERA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ  
Directora de la Escuela Nacional  
de Estudios Profesionales Aragón  
Presente

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES ARAGÓN - UNAM

JEFATURA DE CARRERA DE  
INGENIERÍA CIVIL

Por medio del presente, me permito comunicar a usted que revisé la TESIS titulada:

"FUNDAMENTOS GENERALES PARA CONSTRUCCION CON EL USO DE  
SISTEMAS DE ANCLAJE".

Que presenta el (la) Pasante:

HERNANDEZ ZUÑIGA ISRAEL

Con Número de Cuenta:

09512864-3

Para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgo mi VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, Estado de México, a 19 de Noviembre de 2003.

REVISOR DE TESIS  
Ing. Alvarez Bautista Gabriel

ING. MARTIN ORTIZ LEÓN  
JEFE DE CARRERA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES ARAGÓN - UNAM

JEFATURA DE CARRERA DE  
INGENIERÍA CIVIL

ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ  
Directora de la Escuela Nacional  
de Estudios Profesionales Aragón  
Presente

Por medio del presente, me permito comunicar a usted que revisé la TESIS titulada:

**"FUNDAMENTOS GENERALES PARA CONSTRUCCION CON EL USO DE  
SISTEMAS DE ANCLAJE"**.

Que presenta el (la) Pasante: **HERNANDEZ ZUÑIGA ISRAEL**

Con Número de Cuenta: **09512864-3**

Para obtener el título de: **INGENIERO CIVIL**

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgo mi VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÉ EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, Estado de México, a 19 de Noviembre de 2003.

REVISOR DE TESIS  
Ing. Gutiérrez Vázquez Karla Ivonne

Voto

ING. MARTÍN ORTIZ LEÓN  
JEFE DE CARRERA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES ARAGÓN - UNAM

JEFATURA DE CARRERA DE  
INGENIERÍA CIVIL

ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ  
Directora de la Escuela Nacional  
de Estudios Profesionales Aragón  
Presente

Por medio del presente, me permito comunicar a usted que revisé la TESIS titulada:  
"FUNDAMENTOS GENERALES PARA CONSTRUCCION CON EL USO DE  
SISTEMAS DE ANCLAJE".

Que presenta el (la) Pasante: HERNANDEZ ZUÑIGA ISRAEL

Con Número de Cuenta: 09512864-3

Para obtener el título de: INGENIERO CIVIL

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente,  
otorgo mi VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, Estado de México, a 19 de Noviembre de 2003 .

REVISOR DE TESIS  
Ing. Ruiz González Gabriel

ING. MARTÍN ORTIZ LEÓN  
JEFE DE CARRERA

Con todo mi cariño y agradecimiento,  
a la gente que me apoyo durante este  
tiempo, pero sobre todo a Dios por  
darme la dicha de ser lo que soy. . . .

gracias totales

**"FUNDAMENTOS GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN  
CON EL USO DE SISTEMAS  
DE ANCLAJE"**

## INDICE

INTRODUCCIÓN.....	I
<b>CAPITULO I.</b> <b>ANTECEDENTES.....</b>	 1
<b>CAPÍTULO II.</b> <b>ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.</b>	
a).- DETERMINACIÓN DE LA NECESIDAD DE EMPLEAR UN SISTEMA DE ANCLAJE.....	11
b).- MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.....	14
c).- CONCEPTOS QUE DEBERÁN DETERMINARSE PARA ANALIZAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD.....	15
d).- PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE UN TALUD DADO.....	16
e).- REVISIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD EN CONDICIONES ESTÁTICAS.....	16
f).- REVISIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD EN CONDICIONES DINÁMICAS.....	18
g).- CUANDO SE UTILIZAN TALUDES NO ANCLADOS.....	18
h).- CUANDO SE UTILIZAN TALUDES ANCLADOS.....	19

### **CAPÍTULO III. DISEÑO DE ANCLAS.**

1.- SISTEMA DE ANCLAJE.....	20
2.- DISEÑO DE ANCLAS.....	23
3.- ANCLAS.....	24
4.- LONGITUD DE ANCLAS.....	26
5.- TENSORES.....	27
6.- MUROS RETENIDOS CON ANCLAS.....	29
7.- INFLUENCIA DE LA PRESIÓN DE TIERRAS EN EL TIPO DE MURO.....	29
8.- PRESIÓN DE TIERRAS.....	31
9.- ESTABILIDAD DE MUROS ANCLADOS.....	34
10.- UBICACIÓN DE LAS ANCLAS.....	39

### **CAPÍTULO IV. SECUELA PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE ANCLAS.**

1.- CONDICIONES A CORTO PLAZO.....	42
2.- CONDICIONES A LARGO PLAZO.....	44

### **CAPÍTULO V. TÉCNICAS PARA LA COLOCACIÓN DE ANCLAS.**

1.- ANCLAJE DE SOSTENIMIENTO PUNTUAL.....	55
2.- ANCLAJE DE SOSTENIMIENTO REPARTIDO. (ANCLAS DE FRICCIÓN).....	56
3.- ANCLAJE CON BARRAS NERVURADAS HINCADAS EN EL TERRENO.....	58
4.- PERFORACIÓN DE BARRENOS.....	58

5.- CARACTERÍSTICAS DE LAS ANCLAS.....	61
6.- PUNTO O DISPOSITIVO DE ANCLAJE.....	63
7.- ANCLAJE PUNTUAL.....	64
8.- FIJACIÓN CON RESINA.....	64
9.- CARGAS DE RESINA.....	65
10.- NORMAS Y DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS.....	66
11.- COLOCACIÓN DE ANCLAS CON RESINA.....	66
12.- FIJACIÓN CON MORTERO.....	67
13.- TIPO DE MORTERO.....	67
14.- LA TÉCNICA "PERFO".....	68
15.- LAS TÉCNICAS DE LLENADO PREVIO DE MORTERO.....	69
16.- FIJACIÓN MIXTA.....	70
17.- ERRORES QUE HAY QUE EVITAR DURANTE LA COLOCACIÓN DE ANCLAJE....	70
18.- BARRA.....	70
19.- ANCLAJE DE BARRAS.....	71
20.- ANCLAJE PUNTUAL.....	71
21.- ANCLAJE REPARTIDO (ANCLAS DE FRICCIÓN).....	71
22.- COLOCACIÓN DE PLACAS DE APOYO.....	71
23.- CONTROL DE ANCLAJE.....	72
24.- MEDIOS DE CONTROL.....	72
25.- ENSAYES DE TRACCIÓN Y DE TORSIÓN SOBRE ANCLAS INSTALADAS.....	73
26.- PERNOS DE ROCA DYWIDAG.....	75

27.- INSTALACIÓN DE LAS ANCLAS .....	79
28.- INYECCIÓN DE LOS BARRENOS .....	80
29.- PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD DE LA LECHADA DE INYECCIÓN .....	81
30.- TENSADO DE LAS ANCLAS .....	82
31.- CUANTIFICACIÓN DEL MEJORAMIENTO RECOMENDADO PARA LA ESTABILIDAD DEL TALUD .....	84
32.- RECOMENDACIONES .....	85

## **CAPÍTULO VI.**

### **ESPECIFICACIONES PARA LA COLOCACIÓN DE ANCLAJE Y CONCRETO LANZADO.**

1.- ESPECIFICACIONES DE CONCRETO LANZADO .....	86
1.1.- RESISTENCIA ESPECIFICADA DEL CONCRETO LANZADO .....	96
1.2.- PRESIONES TEMPORALES SOBRE MUROS DE CONCRETO LANZADO .....	98
2.- ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE ANCLAJE .....	99
2.1.- PERFORACIÓN Y SELLADO DE BARRENOS .....	99
2.2.- CARACTERÍSTICAS DE LAS ANCLAS DE FRICCIÓN .....	100
2.3.- RECOMENDACIONES PARA LA INYECCIÓN DEL BARRENO .....	101
2.4.- PRUEBAS EN LA LECHADA DE INYECCIÓN .....	102
2.5.- PRUEBAS DE ANCLAS .....	102
2.6.- NOTAS IMPORTANTES .....	102

**CAPÍTULO VII.**  
**INSTRUMENTACIÓN.**

1.- REFERENCIAS SUPERFICIALES.....	103
1.1.- TESTIGOS SUPERFICIALES.....	104
2.- CRITERIOS DE INSTALACIÓN.....	104
3.- PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN.....	105

<b>CAPÍTULO VIII.</b> <b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>.106</b>
---	-------------

<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>.109</b>
--------------------------	-------------

## INTRODUCCIÓN

Los métodos empleados para el ademe de excavaciones subterráneas a base de abundantes elementos de madera, empleados en las primeras épocas de la minería y tradicionalmente en los túneles europeos antiguos y los sistemas de soporte a base de elementos de acero que constituyen el método tradicional de los túneles norteamericanos, presentan importantes obstrucciones para los trabajos subsecuentes en el primer caso y un alto costo en el segundo. Además los lapsos requeridos para la instalación en ambos tipos de soporte son considerables. Para túneles excavados en roca que no requiere de un ademe sistemático, los ingenieros de túneles se enfrentaron al problema de soportar en forma sencilla, bloques aislados, potencialmente inestables, y emplearon entonces lo que se ha llamado “pernos de anclaje”. Se tiene noticia del uso de estos elementos desde hace 25 años.

Los primeros pernos de roca fueron dotados de cuñas formadas con la varilla misma y un elemento auxiliar para formar la parte en que el perno se sujeta en la roca. Posteriormente se desarrollaron elementos mecánicos para sujetar el perno de anclaje, o ancla, a la roca, mediante el accionamiento de este elemento, denominado expansor, y para el cual se conocen diseños en que la expansión se realiza paralelamente a la superficie del barreno, y otros en que dicha expansión presiona las paredes del barreno en un punto de contacto inicial y progresa posteriormente apoyando un tramo del elemento expansor sobre la roca. En ambos casos, estas anclas se conocen como “de tensión”.

El empleo de las anclas en roca de menor calidad, esto es, con un alto grado de fisuración y aún en rocas constituidas por materiales granulares, indujo a los ingenieros de túneles a emplear anclas que pudieran tener contacto con la roca a todo lo largo del barreno en que se instalan, así, se conocen anclas en las cuales, la varilla que las forma, queda embebida en mortero de cemento, (Anclas “SN”, Anclas “Perfo”), otras en que el elemento de relleno es una lechada de cemento Pórtland (Anclas “Williams”, Anclas “GSF”) y

recientemente, el elemento cementante se ha elaborado a base de resinas. Por la forma en que funcionan, las anclas rellenas se conocen como "de fricción".

La observación del funcionamiento de los anclajes colocados en excavaciones subterráneas, permitió el desarrollo de sistemas de soporte en los cuales las anclas tienen una participación fundamental, aún cuando es casi generalmente admitido, que el principal elemento para el soporte de la excavación es la roca misma, y se refuerza con las anclas para permitir que se desarrolle un comportamiento uniforme y monolítico; ocasionalmente se requiere la colocación de elementos adicionales, tales como marcos de acero ligeros y concreto en las paredes de la excavación, para prevenir el desarrollo de inestabilidades locales. Son ejemplos de métodos que admitan estas hipótesis: el nuevo método austriaco de excavación de túneles, desarrollado por el Dr. Rabcewicz, profusamente empleado actualmente en túneles europeos, y así también los sistemas de soporte a base de anclas de fricción empleados en algunos túneles rusos.

El uso de anclas para excavaciones subterráneas en México, ha sido incluido en algunos proyectos hidroeléctricos importantes, y en grandes volúmenes, en las excavaciones del túnel para el Emisor Central del drenaje profundo de la Ciudad de México. Las ventajas del uso de anclas como elementos constitutivos del ademe de excavaciones, quedan claramente señaladas con el caso que se presentó en el tramo entre las lumbreras 20 y 21 del Emisor Central, en donde la ocurrencia de un desprendimiento en la clave en un tramo de túnel ya excavado y soportado a base de marcos de acero, formó una cavidad en la que, por lo menos, hubiese sido muy costoso el ademe a base de elementos exteriores de acero, ya que las dimensiones de esta cavidad, que se formó en una roca que puede considerarse suave, ya que se trata de limos arcillosos con contenidos de agua considerables y resistencias a compresión simple de  $4 \text{ Kg/cm}^2$  y mayores. Del anclaje diseñado para el soporte de esta cavidad, sólo fue instalada la parte correspondiente a la clave y aún así, mediciones de desplazamientos posteriores confirmaron la completa estabilización de esta cavidad después de haber instalado las anclas.

Para poder establecer el diámetro, longitud y número de anclas que se requieren para estabilizar una excavación subterránea, es indispensable conocer la resistencia de estos elementos. El procedimiento usual para determinar la resistencia de las anclas, es el de aplicar una fuerza que tiende a extraer el ancla del sitio en que ha sido colocada, con la llamada Prueba de Extracción.

Esta prueba es representativa de las condiciones de trabajo a que se ve sujeta un ancla empotrada con expansor mecánico, pero no así de las condiciones de trabajo de un ancla rellena. En general, se puede decir que en las anclas de tensión, cuyo expansor ha sido diseñado adecuadamente y se colocan como refuerzo de una roca que les admite, la resistencia de las anclas debe ser la resistencia de la varilla que las constituye, sin embargo, las limitaciones para la fabricación, colocación y control de sujeción de los expansores, motivan que la resistencia a la extracción esté definida por el grado de empotramiento que puede lograrse del expansor en la roca y que, en más de los casos, es del orden de la fuerza de tensión que provoca los esfuerzos al límite elástico en la varilla del ancla.

En anclas rellenas, ya sea con morteros, resinas o lechadas de mortero inyectadas, si la colocación y el relleno se ejecutan adecuadamente, la resistencia del ancla a la extracción está definida por la resistencia de la varilla. Los resultados de las pruebas de extracción efectuadas en anclas colocadas en el proceso normal de trabajos muestran que, en general, se obtienen resistencias a la extracción definidas por la tensión de ruptura de la varilla; sin embargo, los defectos en la inyección y el uso de materiales inadecuados para la elaboración de la lechada de relleno, se traducen en reducciones de la resistencia a valores muy inferiores a la capacidad de la varilla; las fallas en las anclas, que no son por ruptura en la varilla, se presentan generalmente por adherencia entre ésta y la lechada de cemento.

Es muy importante señalar, que ni aún en materiales tan suaves como los limos arcillosos y las arenas compactas desgranables a que se han intemperizado las riolitas antes mencionadas, permiten la generación de una superficie de falla entre el relleno del ancla y la roca.

Los resultados de las pruebas de extracción antes descritas, obtenidos en el túnel del Emisor Central, han sido confirmados en otras excavaciones subterráneas, por algunos de los fabricantes de anclas que han llevado a cabo este tipo de pruebas, necesariamente, cubriendo muy diversos tipos de rocas. Según puede concluirse de los resultados de pruebas de campo, la capacidad de trabajo de las anclas, usualmente establecida en  $2/3$  de los esfuerzos al límite elástico en la varilla, puede lograrse sin dificultad si se emplean los materiales adecuados en la elaboración del relleno y éste se ejecuta correctamente, sobre todo en cuanto a la certificación del llenado del barreno.

El uso de los anclajes sistemáticos como refuerzo de la roca para formar el sistema de soporte de una excavación subterránea, hasta hace poco tiempo estuvo basado en reglas empíricas producto de las experiencias logradas en excavaciones donde se usaron estos elementos; estas reglas indican la asignación de la longitud y la separación de las anclas como una fracción de las dimensiones de la excavación, usualmente entre  $1/3$  y  $1/2$  de la máxima dimensión para la longitud y algo similar para la separación; los diámetros más usados en las varillas de las anclas, fluctúan entre  $3/4''$  y  $1''$ . Los procedimientos de diseño de sistemas de anclaje, aún rudimentarios y en proceso de verificación, que aparecen en la literatura, están apoyados en la hipótesis fundamental de que la roca es el principal elemento para el soporte de la excavación, que se refuerza con las anclas para hacer uniforme su comportamiento y que se protege contra procesos de alteración e inestabilidades locales con elementos exteriores, tales como concreto lanzado y marcos de acero. Tales procedimientos de diseño están enfocados de 2 formas distintas.

El primero es el Método de Roguinsky, este método, de bases mecanicistas, considera la generación de un arco en la masa de roca, que trabajando a compresión, es el que soporta las presiones que se inducen alrededor de la excavación. El material que se encuentra por debajo de este arco se afloja y deberá ser soportado por las anclas mismas o por cualquier otro elemento exterior que se coloque en la excavación con ese propósito.

La posición del arco de carga depende fundamentalmente de la geometría de la excavación y, en cierto grado, de las características de resistencia al esfuerzo cortante de la roca en que se forma, ya que en general, la fuerza de reacción en los apoyos no debe ser más inclinada que el ángulo de fricción de la roca. Una vez definida la posición de la parte inferior del arco de carga, su espesor puede definirse mediante una ecuación de equilibrio entre las presiones actuantes y la resistencia a compresión en el material que forma el arco. En la ecuación de equilibrio, está implícito que la distribución de esfuerzos de compresión en el arco es lineal, variando de cero en la parte inferior a un máximo en la parte superior, el cual no debe exceder la resistencia a compresión de la roca y debe incluir un factor de seguridad adecuado. La función primordial de las anclas es facilitar el trabajo de conjunto de la roca en que se genera el arco de carga como mecanismo natural de soporte.

El segundo es el Método de Rabcewicz, este método de bases semiempíricas, ha sido establecido con base en los modos de falla observados en túneles donde el sistema de soporte fue constituido por anclas inyectadas y una capa de concreto lanzado en el perímetro de la excavación. El método considera la ocurrencia de fallas por esfuerzos cortantes en la masa rocosa a lo largo de superficies simétricas que obligan a participar en la falla a cualquier otro elemento colocado para el soporte de la excavación.

La resistencia total del sistema se traduce en una presión resistente horizontal, definida por la capacidad de la roca y de los elementos colocados en el ademe, esta resistencia se relaciona con una presión vertical de acuerdo con los resultados establecidos en modelos a escala reducida, en función de la relación entre el espesor del ademe y las dimensiones de la excavación y del radio de curvatura de ésta. En general, la determinación de las presiones resistentes, generadas por la roca y cada elemento colocado para el soporte de la excavación y la distribución considerada de los esfuerzos inducidos en el ancla, que de acuerdo con este procedimiento, son tales que inducen una tensión creciente desde la pared de la excavación hacia la masa de roca, junto con los esfuerzos de fricción actuantes en el perímetro del ancla, tienen la misma dirección a todo lo largo de ella.

La comparación de los resultados que se obtienen ambos métodos de diseño antes descritos, a un túnel en el que realmente se requiere ademe, no es muy discrepante entre sí, aún cuando las consideraciones implícitas en dichos métodos son radicalmente distintas. Se considera muy significativo que el análisis de distribución de esfuerzos alrededor de un túnel, efectuado por algunos autores tomando en cuenta las características elásticas, plásticas y viscosas de la roca y utilizando técnicas numéricas, han mostrado que en la clave de los túneles se generan trayectorias de esfuerzos principales de compresión que presentan semejanza con el arco de carga parabólico puesto por Roguinsky y, así también, las superficies de falla contenidas en las hipótesis de Rabcewicz se acusan en los resultados del análisis numérico como trayectorias de esfuerzos cortantes principales; con lo anterior puede decirse que las hipótesis de trabajo basadas en conceptos físicos y en observaciones a posteriori por Roguinsky y Rabcewicz respectivamente, se justifican como hipótesis simplificadoras en los análisis de estabilidad y diseño de sistemas de soporte a base de anclas en excavaciones subterráneas.

La considerable diferencia entre las hipótesis de trabajo contenidas en los métodos de diseño disponibles, despiertan la inquietud sobre la determinación del funcionamiento de las anclas, para establecer cual de los dos procedimientos es más aplicable a una excavación cuya geometría es conocida y, así también se conocen las características de los materiales en que se efectúa, como ejemplo se puede mencionar que para el tramo entre las lumbreras 5 y 6 del Emisor Central, en donde el sistema de soporte consistió fundamentalmente en anclas inyectadas y una capa de concreto lanzado para protección, se llevaron a cabo mediciones de la tensión inducida en las anclas.

El material hallado en este tramo es una toba volcánica que puede clasificarse como arena limosa muy compacta, cementada en partes, cuyas propiedades mecánicas fundamentales en el tramo instrumentado son: cohesión,  $c = 11.7 \text{ Kg/cm}^2$ , ángulo de fricción interna,  $\phi = 32.6^\circ$ , resistencia a la compresión simple  $39.3 \text{ a } 44.1 \text{ Kg/cm}^2$ ; peso volumétrico de  $1.92 \text{ a } 1.94 \text{ ton/m}^3$ .

De acuerdo con mediciones sobre los desplazamientos sufridos por la roca alrededor de la excavación, se ha podido establecer que en algunos sitios la toba volcánica presenta considerables efectos viscosos, mientras que en otros tramos estos efectos son prácticamente nulos. Lo anterior se deduce del comportamiento observado de los desplazamientos que ocurren después de la excavación, en algunas zonas han sido crecientes y en otras no se ha registrado ningún incremento en ellos. La medición de la tensión inducida en las anclas se llevo a cabo mediante la colocación de extensómetros eléctricos (Strain Gages, SG) en anclas que fueron colocadas formando parte del sistema de anclaje normalmente empleado.

La tensión registrada en los SG fue prácticamente constante a lo largo del ancla, pero naturalmente, debe ser nula en el extremo situado dentro de la masa de roca y adquirir el valor correspondiente al peso del material aflojado bajo el arco de carga en el extremo situado sobre la superficie excavada. Lo anterior parece confirmar el funcionamiento de las anclas implícito en las hipótesis de Roguinsky, al respecto de la existencia de una zona en la que el subsuelo actúa sobre el ancla tendiendo a sacar ésta de su lugar y, necesariamente, la generación de otra zona donde estos esfuerzos son resistidos.

No es aparente, de los resultados de estas mediciones, que se produzcan esfuerzos en la misma dirección a todo lo largo del ancla, que por otro lado, requerirían la existencia de un punto en que fuesen totalmente absorbidos, este podría ser un elemento de sujeción a la roca en el extremo interior. Los resultados de la tensión registrada en una prueba de extracción llevada a cabo en una de las anclas instrumentadas, en donde puede concluirse que bajo la acción de fuerzas exteriores, las anclas se comportan de la misma manera que las varillas de refuerzo embebidas en concreto común. En forma esquemática las condiciones de trabajo que se han podido establecer para las anclas de fricción colocadas en un material que no presenta desplazamientos por efectos viscosos de consideración, son diferentes a las condiciones de trabajo correspondientes a un ancla instalada en un material con alta viscosidad o expansibilidad.

Aún cuando los resultados de las mediciones expuestos en los párrafos anteriores deben ser confirmados mediante instrumentaciones más amplias cubriendo diferentes geometrías de la cavidad formada, y sobre todo, diferentes tipos de roca, se considera que en forma preliminar las siguientes recomendaciones permitirán diseñar patrones de anclaje seguros y eficientemente económicos. Las siguientes consideraciones se refieren a la aplicación del método de Roguinsky, en el que se mantienen las hipótesis fundamentales y se ajustan algunas hipótesis de trabajo con base en las mediciones antes descritas.

Las hipótesis fundamentales que se mantienen son:

- a) La roca alrededor de la excavación es el principal elemento para resistir la presión vertical actuante, lo cual se realiza mediante la formación de un arco, dentro de la masa de suelo, que trabaja sólo a esfuerzos de compresión y que por tanto es parabólico. Las anclas uniformizan el comportamiento del material dentro del arco, lográndose así un trabajo de conjunto en la roca que lo constituye.
- b) El material del subsuelo situado bajo el arco de carga y entre las anclas, se afloja y tiende a desplazarse de su sitio, este material debe ser sostenido por las anclas o por los elementos del sistema de soporte que complementan a las anclas y que pueden consistir de marcos de acero, concreto lanzado, etc.

Las hipótesis complementarias que se ajustan son:

- a) La zona aflojada entre anclas forma un volumen parabólico cuya geometría queda determinada al considerar que, tratándose de un fenómeno de falla plástica incipiente, semejante al estado de empujes pasivo, la envolvente de la zona aflojada es tangente a un plano de deslizamiento potencial que forma un ángulo de  $45^\circ - \phi/2$  con el plano que resiste el empuje y que es normal a las anclas, ya que éstas constituyen el elemento que soporta la presión ejercida por el material aflojado.

El peso del material dentro del volumen parabólico es transmitido a las anclas mediante la capa de "shotcrete" colocada en las paredes de la excavación o directamente a elementos de ademe exteriores.

b) Para tomar en cuenta la geometría del caso que se analiza, se considera que el arco de carga es tangente a las zonas aflojadas entre anclas y que tienen su flecha igual a su semiapertura a la elevación donde la pared de la excavación es tangente a un plano vertical.

Cuando el peso del material aflojado bajo el arco de carga es soportado por las anclas, debe valorizarse el peso correspondiente al volumen tributario de cada una; la componente de este peso en la dirección del ancla, será la fuerza de tensión que se inducirá en ella. La longitud óptima de las anclas será la requerida para cubrir la zona aflojada, el espesor del arco de carga y la longitud de anclaje necesaria para transmitir, por adherencia con la lechada, la fuerza de tensión a la masa rocosa que se encuentra sobre el arco de carga y cuyo peso ya es soportado por éste.

A continuación se da una breve descripción del contenido de cada uno de los capítulos que se presentan en este trabajo.

En el capítulo I se da una descripción de los trabajos preliminares que lleva consigo la necesidad de el uso de un sistema de anclaje, como son el muestreo y exploración del talud, un levantamiento geológico superficial, todo con el objeto de realizar las pruebas de laboratorio que nos permitan conocer las características estratigráficas y físicas del talud y determinar el más adecuado. En el capítulo II se describen los procedimientos para realizar la estabilidad de un talud tanto en condiciones estáticas como en condiciones dinámicas, así como recomendaciones y conclusiones para lograr el mejoramiento de la estabilidad del talud.

En el capítulo III se describen las consideraciones que se deben de tomar en cuenta para el diseño de las anclas, analizando la influencia que tiene la presión de tierras en los muros retenidos con anclas y la ubicación que deben llevar éstas. En el capítulo IV se desarrolla el seguimiento que hay que llevar a cabo para el cálculo de la resistencia de las anclas tanto a corto plazo, como a largo plazo.

En el capítulo V se describen algunas técnicas utilizadas para la colocación de sistemas de anclaje, así como la forma de realizar la perforación, además de las características de las anclas, su tensado, procedimiento constructivo y sus medios de control. En el capítulo VI se tratan las especificaciones que debe cubrir un sistema de anclaje y también las especificaciones que debe cumplir el concreto lanzado, para lograr una estabilidad de los taludes.

En el capítulo VII se describe la instrumentación llevada a cabo en los sistemas de anclaje. Finalmente se muestran las conclusiones de este trabajo en el capítulo VIII.

**CAPÍTULO I**  
**ANTECEDENTES.**

Para este capítulo se considerará como ejemplo un talud para revisar su estabilidad. En la mayor parte de la longitud de la corona del talud analizado se tienen construcciones de un nivel. Considerando que las características de los materiales naturales que constituyen al talud de interés han sido alterados por el intemperismo o modificados por la construcción urbana, se juzga necesario efectuar un estudio consistente en muestreo y exploración de los materiales que constituyen al talud analizado, realización de ensayos de laboratorio, levantamiento geológico superficial, levantamiento topográfico del perfil actual del talud (a través de cortes), y el análisis de los resultados obtenidos, con las que podrán dictaminarse la alternativa de retención que se juzga más adecuada para garantizar la estabilidad del talud de interés y mantener un factor de seguridad admisible para condiciones a larga plazo. En este ejemplo se describen los trabajos realizados, se reportan los resultados obtenidos, y se consignan las recomendaciones que se juzgan más convenientes para la estabilidad de cada uno de los taludes de interés, conservando un factor de seguridad admisible.

El levantamiento geológico superficial es un aspecto que debe tomarse en cuenta para determinar si se requiere de un sistema de anclaje, para este caso, los materiales que constituyen al subsuelo en esta zona son producto de la depositación de abanicos volcánicos. Comprenden la acumulación de materiales piroclásticos que se depositaron a los pies de diferentes aparatos volcánicos durante la vida explosiva de estos. Como tal actividad se desarrolló a partir de fines del Mioceno y se extendió hasta aproximadamente mediados del Plioceno, los citados abanicos provienen de esta misma edad. La formación representa un conjunto estratificado a veces regular, a veces irregular y hasta lenticular, ligeramente inclinado ( $4^\circ$ ), constituido en la zona de interés por horizontes de cenizas volcánicas de distintas granulometrias (tobas) intercalados por capas de erupciones pumíticas. En particular en el predio de interés de acuerdo a los pozos a cielo abierto excavados y al levantamiento geológico superficial realizado, los depósitos del subsuelo están constituidos por materiales de origen volcánico, del tipo de nubes ardientes constituidos por tobas arcillo-arenosas poco limosas, y arcillas limo-arenosas de consistencia dura y contenido natural de agua medio de 40%, e índice de resistencia la penetración estándar de 50 golpes, no habiéndose encontrado hasta la profundidad explorada materiales pumíticos.

En función de lo anterior, se considera que el área ocupada por el talud de interés, la probabilidad de la existencia de cavidades en el suelo producto de la explotación de materiales pumíticos es baja. Lo anterior es necesario considerarlo, ya que en el caso de dictaminar su presencia provocaría algún movimiento en el talud que ocasionaría su inestabilidad. El muestreo y exploración del talud es otro punto importante para conocer los parámetros para diseñar el sistema de anclaje requerido, en este caso para investigar las características estratigráficas y físicas de los depósitos superficiales que constituyen al talud de interés, se tuvieron que excavar pozos a cielo abierto a profundidades variables entre 2 y 3 m de profundidad, con el objeto de determinar el contacto entre los materiales de relleno de mala calidad colocados a volteo y los materiales de depósito natural, de donde se obtuvieron muestras representativas de los materiales que constituyen al talud.

En las muestras cúbicas inalteradas en los pozos a cielo abierto excavados, se hicieron las siguientes pruebas de laboratorio:

- Clasificación visual y al tacto, en húmedo y en seco.
- Contenido de agua.
- Límites de consistencia y/o granulometría.
- Densidad de sólidos.
- Peso volumétrico natural.
- Compresión triaxial no consolidada–no drenada.

La ley de resistencia definida como la envolvente de los cálculos de Mohr para los estados de esfuerzo desviador máximo se obtuvo en pruebas de compresión triaxial no consolidada-no drenada. De esta prueba se obtienen parámetros como el  $\phi$  y la  $c$ . Las características estratigráficas y físicas del talud, de este ejemplo se definirán de la siguiente forma:

El sitio de interés se localiza, en la zona I denominada zona de Lomas según la regionalización establecida por Del Castillo <sup>(1)</sup>. Los resultados de los trabajos de exploración del subsuelo efectuados indican que en esta zona se encuentran tobas volcánicas constituidas por suelos areno-limosos compactos, de alta capacidad de carga y baja deformabilidad.

En particular las tobas son del tipo inestables bajo la acción erosiva del agua; estos suelos están compuestos en gran proporción por arcilla de plasticidad media a alta con cementación pobre. Es muy probable que en estas zonas hayan existido bosques que mantenían cierto equilibrio contra la erosión, el cual fue alterado por la remoción de árboles y el desarrollo de la zona urbana, creando zonas inestables; las propiedades resistencia de estos materiales cambian cuando se saturan.

Debido al intenso crecimiento que tiene la ciudad hacia las zonas pétreas, se ha tratado de aprovechar las barrancas rellenándolas con material mal compactado y de mala calidad. En este sitio se colocaron materiales de mala calidad colocados a volteo para rellenar la parte superior de la barranca, en general la configuración es irregular con una ligera pendiente a 60°. Superficialmente se tiene una capa de suelo vegetal variable entre 0.2 y 0.6 m de espesor, excepto en la parte superior del talud, que como ya se mencionó se tienen espesores de relleno variables entre 1 y 2.0 m.

---

(1) Del Castillo M. R. "El Subsuelo y la Ingeniería de Cimentaciones en el Área Urbana del Valle de México, Simposio, S.M.M.S. Marzo de 1978.

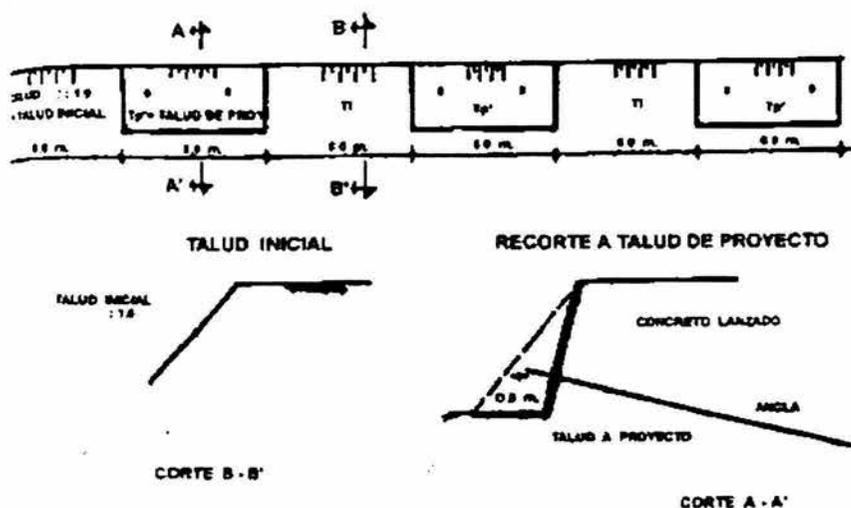
Las características que se consideran de los materiales naturales obtenidos en las pruebas de laboratorio son las siguientes:

• Clasificación de acuerdo al S.U.C.S.	CL-ML
• Contenido de agua promedio	40%
• Límite líquido	46%
• Límite plástico	26%
• % de finos	93%
• % de arena	7%
• % de finos	0%
• Triaxial	$c = \text{ton/m}^2$ y $\phi = 28^\circ$
• Peso volumétrico promedio	$1.5 \text{ ton/m}^3$

A continuación se presenta un esbozo de los elementos que se requieren para un sistema de anclaje:

En este punto se considerarán las especificaciones generales que deberán implementarse en la zona, con relación a la información de Mecánica de Suelos realizada. Se requerirán trabajos de corte y excavación, dejando terrazas preliminarmente. En el sentido longitudinal, se recomienda colocar un muro de suelo cemento en las colindancias entre terrazas, para evitar perder terreno por una parte y por otra garantizar la estabilidad de los taludes. El número de terrazas se maneja de acuerdo a la estratigrafía del terreno.

Perimetralmente se recomienda dejar taludes con alturas variables entre 2 y 15 m, de acuerdo al tipo de materiales, se recomienda manejar un talud a 60 grados, pues los depósitos son de tipo tobáceo. En el caso de alguna estructura existente en la corona del talud será necesario implementar un sistema de anclaje permanente que incremente el factor de seguridad de acuerdo a los niveles que adopten las plataformas, pues el nivel actual de la superficie se encuentra por arriba del nivel original de arranque.



1º TRAMOS ATACADOS SIMULTÁNEAMENTE

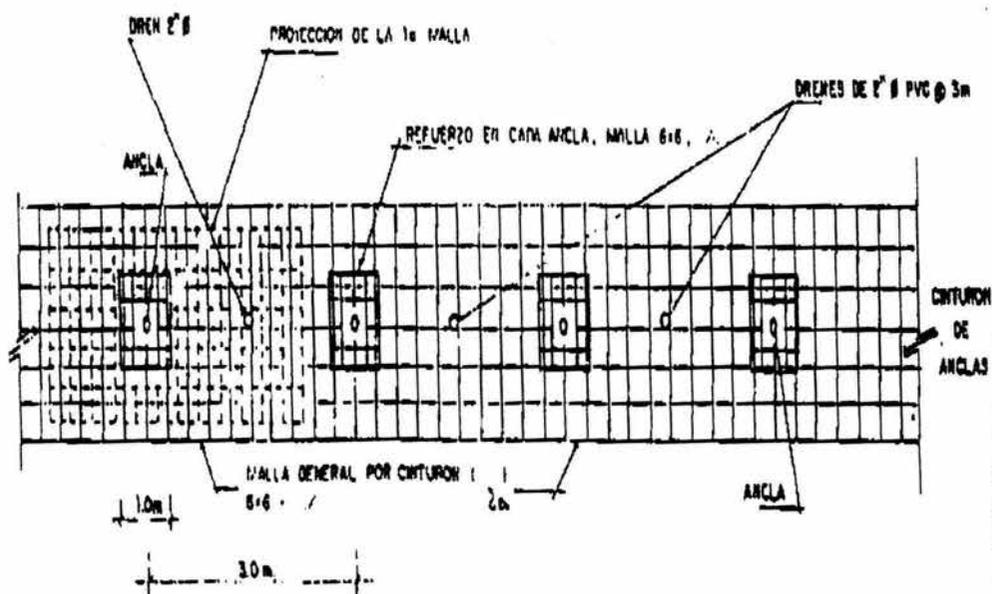
### CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE RETENCIÓN POR TRAMOS.

Los taludes que no requieran de anclaje para su estabilización, serán en todo el perímetro del sitio de interés, y se debe a que se desarrollan hacia el exterior del predio o bien porque se puede desarrollar una pendiente estable dentro del predio. Se afinará el talud dejado por la excavación inicial a un talud que se desarrolle de manera uniforme entre el nivel superior y el lecho más bajo de la excavación.

De no hacerse necesaria alguna modificación como resultado de la observación directa de los materiales resistentes del depósito natural expuestos por la excavación, estos se excavarán a 0.3:1.0 (horizontal-vertical) en los depósitos resistentes de origen natural. Afinado el talud se le colocará una protección en base a una capa de concreto lanzado, de 5 cm de espesor aplicada sobre una malla electrosoldada anclada al talud con varillas de 3/8" de diámetro y de 0.3 m de longitud hincadas con una distribución reticular de 2 m por lado dejando sobre el nivel de la superficie del talud, un tramo de varilla igual al espesor del

concreto lanzado de tal forma que funcione como guía para regular el espesor del concreto lanzado.

Para alcanzar la pendiente que corresponde al talud que se tendrá en cada colindancia y construir la estructura de retención se seguirá el procedimiento que a continuación se describe: se profundizara la excavación en la periferia del predio a la pendiente de proyecto hasta una profundidad de 0.8 m bajo el nivel de la primera línea de anclaje.



VISTA GENERAL DEL REFUERZO DE ANCLAS EN EL PRIMER NIVEL.

Una vez perfilado el talud a la pendiente correspondiente a cada uno de los lados y alcanzado el primer nivel de anclaje se procederá a perfilar una caja de dimensiones de 1x1 m, cuyo centro coincida con la posición de las anclas.

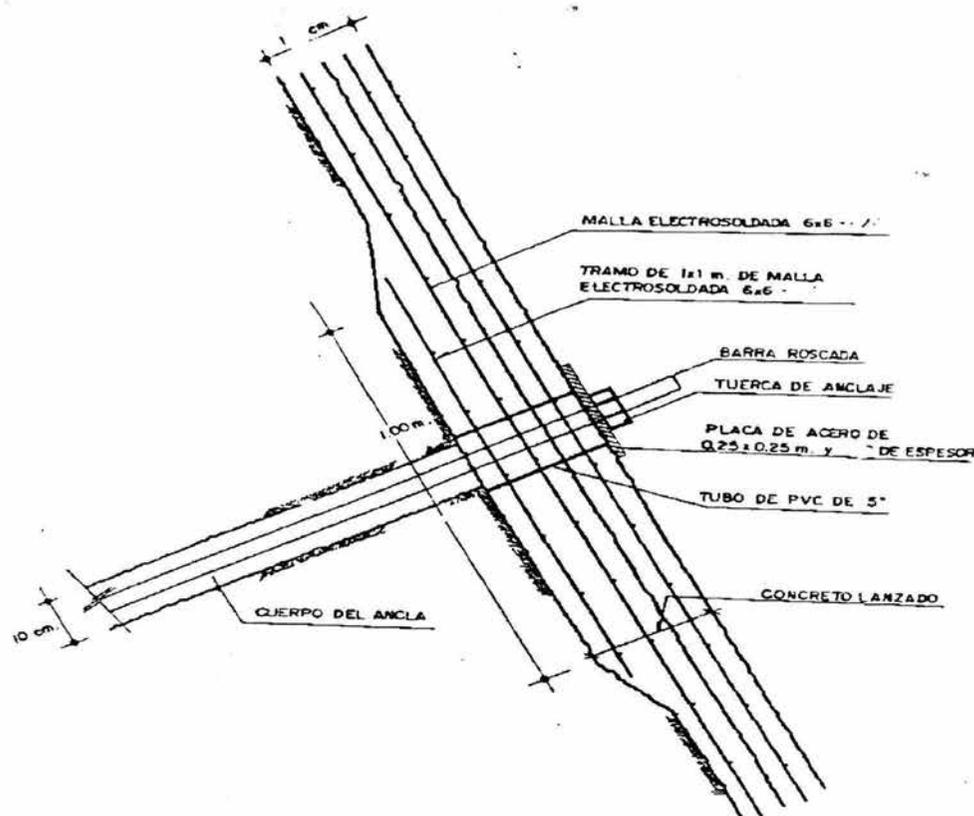
En las cajas labradas se colocaran tramos de 1x1 m de malla electrosoldada y en toda el área del talud ya perfilado con la pendiente del proyecto se colocara sobre el talud una malla fijada al talud mediante varillas de 3/8" y 0.3 m de longitud, hincadas en una reticula de 2 m de lado, dejando sobresalir del talud un tramo de varilla igual al espesor que tendrá el concreto lanzado, de tal manera que estas funcionen como escantillón para regular el espesor del concreto lanzado. Una vez colocada la malla se aplica una capa de concreto lanzado de espesor determinado previamente.

A continuación se realizan las perforaciones en que se instalarán las anclas, atravesando el muro de concreto lanzado en los sitios en que se dejaron las preparaciones para tal motivo. Siguiendo el procedimiento de perforación, introducción del tensor, inyección y tensado de las anclas especificado en su momento.

Una vez tensadas las anclas correspondientes al primer nivel de anclaje se procederá con el recorte del talud bajo el nivel de la siguiente línea de anclaje, perfilando al talud de proyecto procediendo enseguida a la colocación de la malla, al lanzado de concreto, a la instalación y tensado de las anclas del segundo nivel, en forma semejante a lo realizado para el primer nivel de anclaje, y así sucesivamente para los siguientes niveles de anclaje hasta alcanzar con el talud de proyecto el nivel máximo de excavación. Las anclas generalmente son del tipo de fricción con 10 cm de diámetro, lo que se determina es la longitud y la capacidad del tensor constituido por una barra ó cables preesforzados, y una disposición especificada en los dos sentidos.

Dentro del concepto de colocación de malla electrosoldada deberán incluirse las varillas para anclarla, las cuales se espaciarán 2.5 m y tendrán una longitud de 30 cm (en tobas) y de 80 cm (en rellenos). Además debe incluirse la colocación de drenes, que serán tubos de PVC ( $\phi = 2''$ ) y 340 cm de longitud espaciados 2.5 m (vertical-horizontal) los cuales deberán sobresalir en la malla 20 cm.

Dentro del concepto de anclas deberá incluirse la perforación en el diámetro indicado, el suministro y habilitado del acero del ancla para la carga especificada y la inyección con lechada de cemento del ancla. Para las cargas especificadas se usarán cables preesforzados (torón). El esfuerzo de malla de 1x1 m, incluirá el labrado de una "caja" de 6 cm. Durante la construcción del mejoramiento de taludes deberán considerarse drenes para evitar el empuje hidrostático que actúan sobre el muro de concreto, el cual incrementa las fuerzas actuales y reduce el factor de seguridad. Para observar el comportamiento de los taludes se recomienda llevar un control topográfico mediante la realización de nivelaciones y desplazamientos sobre testigos superficiales.



SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA MALLA ELECTROSOLDADA REFORZADA CON CONCRETO LANZADO.

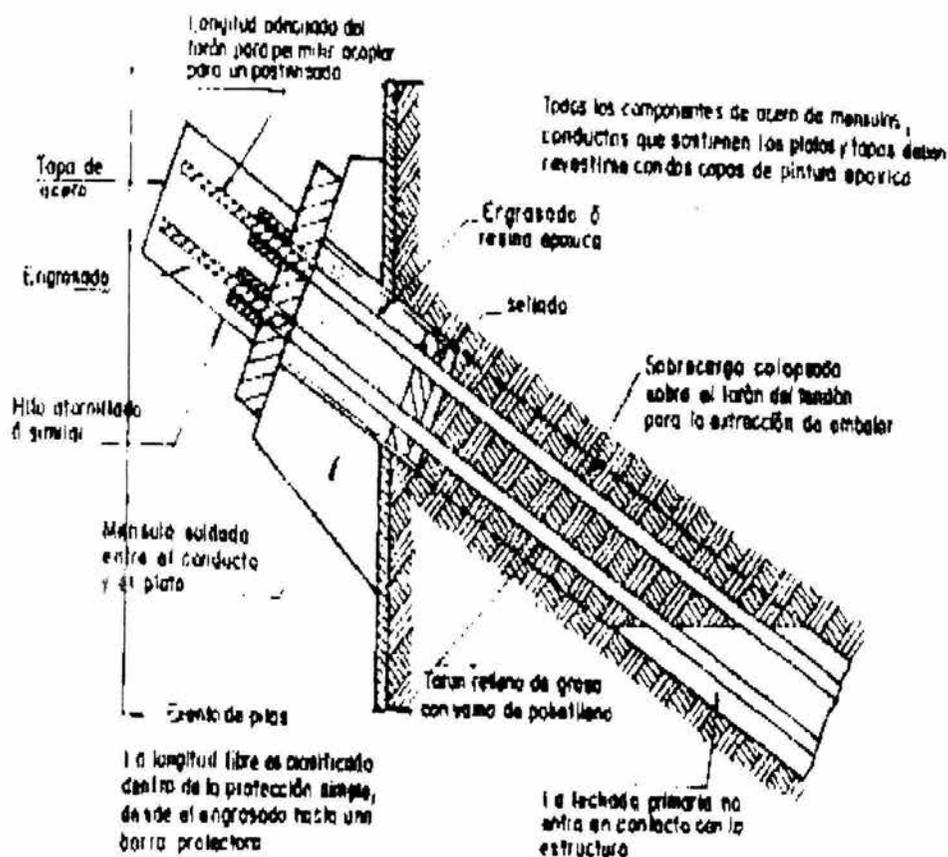
Se deberán perforar drenes adicionales sobre el muro de concreto lanzado con el objeto de permitir el libre paso del agua que sea retenida en el respaldo del muro anclado, dado que estos no están diseñados para soportar empujes hidrostáticos, verificando que los drenes existentes funcionen adecuadamente, estos drenes deberán ser perforaciones de 2" de diámetro mínimo a cada 2.5 m tanto en el sentido vertical como horizontal.

Para observar el comportamiento de los taludes se recomienda llevar un control topográfico mediante la realización de nivelaciones y desplazamientos sobre testigos superficiales. Se deberán perforar drenes adicionales sobre el muro de concreto lanzado con el objeto de permitir el libre paso del agua que sea retenida en el respaldo del muro anclado, dado que estos no están diseñados para soportar empujes hidrostáticos, verificando que los drenes existentes funcionen adecuadamente, estos drenes deberán ser perforaciones de 2" de diámetro mínimo a cada 2.5 m tanto en el sentido vertical como horizontal.

Durante la excavación y conformación de los taludes un ingeniero especialista de MECÁNICA DE SUELOS, deberá verificar que las características de los materiales corresponden a los considerados en los análisis y en caso necesario de acuerdo al comportamiento de los taludes y de los materiales encontrados, establecer los ajustes o modificaciones al procedimiento de excavación propuesto.

Los anclajes en suelos son anclajes inyectados, empotrados en el suelo, en los que por medio de un elemento de tracción de acero (tensor) y un cuerpo de inyección exactamente delimitado por la perforación que lo aloja, (constituido por el cilindro de lechada de cemento que se inyecta a la perforación), se transmite al suelo la fuerza aplicada al muro de concreto lanzado por el tensado del ancla. En la zona no inyectada (en la que el tensor es lubricado) el anclaje mantiene la libertad de movimiento. En la parte exterior, el anclaje tiene lugar por medio de cuñas de apriete y un disco de anclaje que sujeta a los torones (paquetes de alambres de alta resistencia).

Una vez terminado el tensado se recomiendan no cortar las puntas sobrantes del cable torón para una posible retensada sobre las cuñas de sujeción al queso, cubriéndose con un capuchón relleno con mortero, pintando finalmente el capuchón y la placa metálica con pintura epóxica. Hora bien con respecto a la calidad de los materiales que se cortarán para dar el nivel de proyecto y que se proyectan emplearse para rellenar las zonas más bajas, estos poseen características adecuadas para emplearse, sin embargo deberán verificarse algunos lineamientos en la construcción de plataformas.



DETALLE PARA LA PROTECCIÓN DOBLE DEL TORÓN DEL TENDÓN.

## **CAPÍTULO II**

### **ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.**

- a).- DETERMINACIÓN DE LA NECESIDAD DE EMPLEAR UN SISTEMA DE ANCLAJE.
- b).- MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.
- c).- CONCEPTOS QUE DEBERÁN DETERMINARSE PARA ANALIZAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD.
- d).- PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE UN TALUD DADO.
- e).- REVISIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD EN CONDICIONES ESTÁTICAS.
- f).- REVISIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD EN CONDICIONES DINÁMICAS.
- g).- CUANDO SE UTILIZAN TALUDES NO ANCLADOS.
- h).- CUANDO SE UTILIZAN TALUDES ANCLADOS.

Para el estudio de este capítulo se considerara otro ejemplo para su comprensión con los datos mencionados a continuación.

a).- DETERMINACIÓN DE LA NECESIDAD DE EMPLEAR UN SISTEMA DE ANCLAJE.

Dado un nivel de máxima excavación, para alcanzarlo será necesario dejar taludes en las colindancias con altura variable. Se tendrán cortes a lo largo de las colindancias e interiores al predio, en los que se indica el nivel actual de la superficie del terreno, el nivel al que se estima aparecen los materiales resistentes de deposito natural que subyacen a los rellenos heterogéneos de mala calidad, en los que se efectuara la excavación, se indican los limites y profundidad de la excavación que alojara la estructura proyectada.



TRABAJO DE MOVIMIENTO DE TIERRAS DONDE SE OBSERVAN LOS TRAMOS ALTERNADOS.

Considerando que los rellenos tienen una constitución muy heterogénea, tanto en cuanto al tipo de materiales que son predominantemente granulares, formados por gravas y boleos en diferentes porcentajes con poca arena y finos; como su compacidad que varía de media a suelta, el procedimiento constructivo de la excavación que se realizará en ellos, debe contemplar preferencialmente el manejo de taludes inclinados, que particularmente proporcionan una mayor estabilidad a los materiales expuestos en la superficie del talud, en una primera etapa de excavación en que no se confinen los materiales mediante alguna estructura de retención.

El realizar la excavación en los rellenos existentes dejando un talud vertical, aun en áreas reducidas y a corto plazo, dado el carácter granular y poco compacto de los materiales; tiene una alta susceptibilidad a sufrir caídas, desprendimiento de boleos o desconchamientos locales, que generalmente son progresivos, dando lugar a una falla de talud de mayores proporciones.



**TRABAJOS DE RESTITUCIÓN DEL MATERIAL DESLIZADO (DESCONCHAMIENTO LOCAL) A BASE DE TABIQUE LIGERO UNIDO CON MORTERO.**

De acuerdo a los resultados de los análisis de estabilidad de taludes que más adelante se consignan, un talud no protegido por alguna estructura de retención, realizado en los rellenos existentes, con altura mayor a 10 m para resultar estable a mediano plazo, con un factor de seguridad del orden de 1.25, deberá tener una pendiente 1.2:1.0 (horizontal-vertical). La excavación en los materiales resistentes de depósito natural podrá realizarse con talud vertical, para el que tendrá un factor de seguridad mayor de 1.5, sin embargo considerando inicialmente que puede haber afectación con vía pública se esta proponiendo dejar taludes verticales en materiales de relleno, lo que implica colocación de anclas menos separadas entre si y de mayor longitud, para lo cual es recomendable efectuar algunas pruebas de anclas en este tipo de materiales.

Para que los taludes de excavación no invadan el área que cubrirá la estructura y se desarrollen dentro de los límites de propiedad del predio, en algunos casos deberán tener inclinaciones mayores a  $40^\circ$  que como se vera mas adelante en los materiales de relleno existentes, es la inclinación máxima que pueden adoptar los taludes para tener condiciones de estabilidad admisible.

Debido a que la inclinación de los taludes necesario para lograr lo anterior, dadas las características de los materiales que constituyen el talud, no corresponden a una condición estable, deberán aumentarse las condiciones de estabilidad de los taludes mediante su retención en la profundidad en la que la excavación se realiza en los materiales de relleno empleando una estructura constituida por una placa de concreto lanzado reforzada con malla electrosoldada y retenida por anclas de fricción cuya longitud activa se desarrolle detrás de la superficie potencial de deslizamiento de los taludes definido.

Mas adelante considerando las características de los taludes en cuanto a los materiales que los constituyen, a su geometría, es decir, a su altura e inclinación, se determina para cada caso el espesor de la placa de concreto lanzado, el refuerzo de malla electrosoldada, la longitud y distribución de las anclas y el procedimiento constructivo de todo el sistema.

La excavación se hará con un frente de ataque horizontal, profundizándose en tramos de 3 m de tal manera que la excavación se efectúe inicialmente hacia las colindancias, perfilando los taludes con la inclinación de proyecto, instalando la malla sobre la que se aplicará el concreto lanzado y construyendo las anclas y simultáneamente a la instalación de la estructura de retención de los taludes, se excave la zona central y una vez tensadas las anclas del nivel excavado se profundice la excavación otro tramo de 2.5 m, siguiendo el mismo procedimiento hasta alcanzar el nivel máximo de excavación.

La construcción de la estructura de retención en los taludes cuya inclinación sea mayor a la de 0.5:1.0, se efectuará para cada nivel de anclaje en dos etapas, de tal manera que en la primera etapa se deje una berma con una banqueta de un metro de ancho y un talud de 1:1, y para descubrir el nivel a que se instalan las anclas, se realice en tramos alternados de 5 m de ancho, construyendo en estos tramos la estructura de retención y una vez tensadas las anclas de estos primeros tramos, procediendo a terminar la estructura de retención correspondiente al nivel de anclaje atacado.

#### b).- MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.

Los materiales existentes hasta la máxima profundidad de excavación son rellenos friccionantes, no presentan diferencias importantes en su resistencia, por lo que el mecanismo de falla general que tiene mas probabilidad de ocurrir es el de rotación a lo largo de la superficie de falla cilíndrica o de deslizamiento sobre superficies casi planas ubicadas en la proximidad de la superficie del talud.

Para la determinación del factor de seguridad contra falla por rotación o deslizamiento de los taludes de interés incluyendo una sobrecarga sobre la corona del talud y el efecto de la acción sísmica sobre el talud, se empleo un programa de computadora basado en el método de Bishop simplificado.

Considerando un talud con pendiente (horizontal-vertical) las características estratigráficas y físicas de los materiales que atraviesa la superficie potencial de falla y una sobrecarga sobre la corona del talud el factor de seguridad contra de la falla por deslizamiento si resulta de 1.25 es admisible para condiciones de corto plazo. Para incrementar el factor de seguridad contra falla por deslizamiento de los taludes con inclinaciones mayores de  $40^\circ$  se retendrán parcialmente mediante un muro anclado que cubra y confine los materiales de relleno que constituyen el cuerpo de los taludes.

La distribución, número y capacidad de las anclas será tal que la presión aplicada a los rellenos por el muro de concreto lanzado al que se sujetan incrementa la resistencia al esfuerzo cortante en la superficie potencial de falla a un valor que de por resultado un factor de seguridad admisible contra deslizamiento para las diferentes condiciones de trabajo del talud.

En el caso de suelos poco heterogéneos uno de los círculos que será analizado mediante el programa de computadora mencionado, será el que tenga su centro con la ubicación que de éste se obtiene de acuerdo a las gráficas de Jambu, con un radio tal que la superficie de falla pase por el pie del talud. Además del círculo antes mencionado, se analizan varias posiciones del centro de círculos de falla partiendo del centro del círculo crítico según Jambu, variando su posición en sentido ortogonal con separación de  $H/30$ , para cada posición de centro de círculos se analizan otros círculos con radios tales que partiendo del que corresponda a falla por el pie del talud se incrementa el radio en  $H/30$ . Si los suelos son estratificados se eligen para los estratos de baja resistencia.

#### c).- CONCEPTOS QUE DEBERÁN DETERMINARSE PARA ANALIZAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD.

Considerando la geometría actual del talud, las características estratigráficas y físicas del subsuelo del talud de interés y tomando en cuenta la existencia de construcciones en la corona del talud, se efectuó el análisis para revisar la estabilidad del talud de interés.

A continuación se consignan los parámetros del subsuelo considerados, los criterios de análisis aplicados para la revisión de la estabilidad del talud y los resultados obtenidos de los análisis. En suelos homogéneos o en los que la resistencia de los materiales que constituyen el talud no tienen diferencias importantes, el mecanismo de falla más probable es a lo largo de una superficie de falla cilíndrica. La posibilidad de que una grieta generada en el talud reduzca su factor de seguridad, dependerá de si la superficie de falla crítica corta la zona de tensiones, en la que resulta factible la generación de grietas.

#### d).- PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE UN TALUD DADO.

Para dictaminar si la geometría actual del talud es la más adecuada de acuerdo a las características estratigráficas y físicas del subsuelo, de su altura, de la sobrecarga en la corona, del tiempo que permanecerá el talud, de las condiciones dinámicas o estáticas y de los factores de seguridad admisibles, se determinará mediante el procedimiento que se describe en los puntos siguientes y en caso necesario se establecerán las medidas que se juzguen más adecuadas para garantizar la estabilidad del talud.

#### e).- REVISIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD EN CONDICIONES ESTÁTICAS.

Se considerará la geometría de un talud, suponiendo la acción de una sobrecarga uniformemente repartida, actuando en un área contigua a la corona del talud. En el análisis se consideró la existencia de grietas de tensión longitudinales en la corona del talud con los siguientes efectos:

1. Reducción en la longitud de la superficie de deslizamiento, con la correspondiente disminución en el momento resistente.
2. Disminución en el volumen y peso de la cuña, con su correspondiente reducción del momento motor.

3. Generación de empujes hidrostáticos causados por acumulación de agua en la grieta estos empujes son desfavorables en la estabilidad del talud.

Para la determinación de la posición de la grieta, se considera que esta se desarrolla en la mitad de la corona más alejada que afecta el círculo crítico que pasa por el pie del talud. Se considera un valor del promedio de los parámetros de suelo, ángulo de fricción interna de  $39^\circ$  para los materiales resistentes y de  $20^\circ$  para los rellenos y peso volumétrico de 1.75 y 1.45  $\text{ton/m}^3$  para las tobas volcánicas y rellenos respectivamente, obteniendo una profundidad de  $Z_0$  donde se genera tensión.

La determinación preliminar de las coordenadas del círculo crítico por el pie de talud, se calculó según N. Jambu\*:

$$\lambda c \phi = \frac{\gamma H \tan \phi}{c}$$

Para una cohesión, un ángulo de fricción interna y un peso volumétrico, se obtuvo un valor de  $\lambda c \phi$  y de acuerdo a las gráficas de Jambu se obtuvo para un talud de  $H = 18$  m de profundidad, las coordenadas del círculo de falla. Estas coordenadas se utilizan en el análisis de estabilidad de taludes por medio de un programa de computadora que utiliza el método de Bishop simplificado para determinar el círculo crítico de falla. De acuerdo a los resultados obtenidos y considerando las condiciones del talud analizadas, y la falla rotacional, se obtiene un factor de seguridad cual si no es admisible de acuerdo con la práctica de la ingeniería de cimentaciones \* \*\* y se encuentra al límite será necesario utilizar un sistema de anclaje.

---

\* Jambu, N. Stability y analysis of Slopes with dimensionless parameters. Harvard Soil Mechanics Series No. 46 Universidad de Harvard 1954.

---

\*\* Reglamento de Construcciones para el D.F. 1987.

En general se considera que el factor de seguridad admisible para condiciones a largo plazo debe ser de 1.5, por lo que será necesario colocar un sistema de retención (muro anclado) que incremente el factor de seguridad.

f).- REVISIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD EN CONDICIONES DINÁMICAS.

Para la revisión en condiciones dinámicas (sismo) se considerara la geometría del talud anterior, donde a las fuerzas actuantes se les sumó el efecto del sismo, el cual se supone como una fuerza igual el peso de material dentro del círculo crítico multiplicado por el coeficiente sísmico, el cual se tomó como 0.053.

De acuerdo con el análisis anterior se obtuvo un factor de seguridad de 1.112 para condiciones dinámicas, que de no ser admisible de acuerdo a la práctica de la ingeniería de cimentaciones \* \*\* y se encuentra al límite, será necesario anclar para incrementar el factor de seguridad. Se considera que el factor de seguridad admisible para condiciones a corto plazo debe ser de 1.25, por lo que será necesario colocar un sistema de retención (muro anclado). Tomando en cuenta los resultados obtenidos y considerando que estos se encuentran al límite de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Construcciones para el D.F. se recomienda colocar un sistema de anclaje, que incremente el factor de seguridad de la estabilidad.

g).- CUANDO SE UTILIZAN TALUDES NO ANCLADOS.

Los taludes que no requieran de anclaje para su estabilización, bien porque se desarrollan hacia el exterior del predio si lo permite o bien porque se pueda desarrollar una pendiente estable dentro del predio su excavación se hará según la siguiente secuencia:

---

\* Navdocks DM-7, Department of the Navy Bureau Yard and Docks Washington 25 D.C., Chapter 7, P. 7-7

---

\*\* Reglamento de Construcciones para el D.F. 1987

I. Se afinara el talud dejado por la excavación inicial a un talud que se desarrolle de manera uniforme entre el nivel superior y el fondo de la excavación o bien entre la superficie y el contacto con los materiales resistentes del depósito natural. De no hacerse necesaria alguna modificación como resultado de la observación directa de los materiales resistentes del depósito natural expuestos por la excavación, estos se excavarán con un talud razonable en los depósitos resistentes de origen natural.

II. Afinando el talud se le colocara una protección mediante una capa de concreto lanzado, de 4 cm de espesor aplicada sobre una malla electrosoldada anclada al talud con varillas de 3/8" de diámetro y de 0.3 m de longitud hincadas con una distribución reticular de 2 m por lado dejando sobre el nivel de la superficie del talud, un tramo de varilla igual al espesor del concreto lanzado de tal forma que funcione como guía para regular el espesor del concreto lanzado.

#### h).- CUANDO SE UTILIZAN TALUDES ANCLADOS.

Los taludes que requieren de anclaje para su estabilización, bien porque se desarrollan hacia el exterior del predio no se permite o bien porque no se pueda desarrollar una pendiente estable dentro del predio por el desarrollo del proyecto su excavación se hará según la siguiente secuencia. Para alcanzar la pendiente que corresponde al talud que se tendrá en cada colindancia y construir la estructura de retención se seguirá el procedimiento que a continuación se describe. Previamente al inicio de la excavación, se instalarán referencias topográficas sobre el paramento de las colindancias a la excavación y de las estructuras colindantes, que constituyan líneas de colimación que permitan medir posibles desplazamientos laterales o verticales de las colindancias y poder fundamentar, con base en esta información, cambios al procedimiento constructivo. Las lecturas de las referencias instaladas se harán como mínimo semanalmente durante el procedimiento de excavación y construcción de la cimentación y sótano, se podrán incrementar de ser necesario, de acuerdo al comportamiento observado y analizado por un ingeniero especialista en mecánica de suelos, quien también podrá incrementar y reubicar referencias.

### CAPÍTULO III DISEÑO DE ANCLAS.

1.- SISTEMA DE ANCLAJE.

2.- DISEÑO DE ANCLAS.

3.- ANCLAS.

4.- LONGITUD DE ANCLAS.

5.- TENSORES.

6.- MUROS RETENIDOS CON ANCLAS.

7.- INFLUENCIA DE LA PRESIÓN DE TIERRAS EN EL TIPO DE MURO.

8.- PRESIÓN DE TIERRAS.

9.- ESTABILIDAD DE MUROS ANCLADOS.

10.- UBICACIÓN DE LAS ANCLAS.

## 1.- SISTEMA DE ANCLAJE.

Debido a la heterogeneidad de los materiales de relleno en que se instalarán las anclas tanto en su construcción como en su estructuración, se prevé que el usar un procedimiento convencional para construir las anclas, consiste básicamente en perforar el barreno, extraer las barras de perforación, y posteriormente estas dificultarán la introducción del tensor al barreno, pudiéndose cerrar la perforación, lo que requerirá de una reperfusión con una mayor problemática de inestabilidad. Esta problemática puede retrasar el programa de anclaje de forma muy importante, por lo que será necesario efectuar algunas pruebas de anclas en estos materiales utilizando máquinas Stenuick o Long Year para determinar con exactitud la problemática durante el proceso constructivo.



HABILITADO DE LOS TENSORES (ANCLAS) PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE ANCLAJE.

Tan pronto se concluya la perforación y se introduzca el tensor, se inyectará el ancla, obturando la boca del barreno para uniformizar la presión de inyección. La mezcla a inyectar consistirá de una lechada compuesta con agua-cemento, en proporción 1:2, respectivamente. El agua a utilizar será limpia y debe mezclarse perfectamente con el cemento para disolver todos los grumos y obtener una mezcla homogénea, una vez logrado esto, se colocará una lechada en el recipiente de la bomba de 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 requieran las anclas. La inyección se deberá realizar a una presión de  $3 \text{ Kg/cm}^2$  en la siguiente forma:

- a) Adaptar la manguera de la bomba al tensor, iniciando la inyección desde el fondo de la perforación.
- b) Accionar la válvula de salida de la bomba para iniciar la inyección, verificando mediante manómetro, que la presión no sea menor que el valor especificado.
- c) Debido a las características granulométricas de los materiales que alojarán los tensores, el volumen de inyección no es posible precisarlo en materiales de relleno, por lo que al detectarse alguna fuga, en función del volumen inyectado se evaluará en que momento se suspenderá la inyección y se programará una inyección adicional.

Dada la gran cantidad de huecos conectados entre sí, que tienen los materiales de relleno colocados a volteo como los existentes en la zona de interés, la lechada inyectada para cubrir el tensor, rebasa la frontera de la perforación, haciéndose necesaria la inyección de un volumen mayor al teórico para llenar el barreno.

La pérdida de lechada en algunos casos puede ser tan importante que aun inyectando una gran cantidad de lechada en una vez, no se cubra la totalidad del tensor en su longitud adherente (bulbo), necesario para que el ancla adquiera capacidad de proyecto, de ocurrir lo anterior el procedimiento de inyección se hará por etapas, la primera se suspenderá una vez

que se detecte la pérdida de lechada en base al volumen inyectado, colocando una manguera de inyección adicional, inyectando aire y agua para su completa limpieza, dejando listo para una inyección posterior, una vez que la lechada inyectada inicialmente haya fraguado.



**PROCEDIMIENTO DE INYECCIÓN DEL CUERPO DEL ANCLA CON LECHADA CEMENTO-AGUA HASTA QUE DESFOGA POR LA MANGUERA DE PURGA.**

De ocurrir el mismo problema en una segunda inyección se aplicará el mismo procedimiento. Como medida complementaria tendiente a lograr una completa inyección del barreno, se introducirá una manguera secundaria a este junto a la barra de perforación, hasta la profundidad del bulbo (longitud del ancla) y se inyectará a través de ella si se presentan problemas de inyección a través del orificio de la manguera de inyección en el área central del tensor.

Con objeto de garantizar la adecuada capacidad de las anclas, será necesario verificar la resistencia de la lechada empleada, para ello se deberá tomar, cuando menos, una muestra de cada 5 anclas inyectadas. Cada muestra consistirá en 3 probetas, las cuales se probarán a edades de 1, 3 y 7 días; cada muestra deberá acompañarse de datos de fecha y localización en que se emplea la lechada. Para considerar adecuada la lechada empleada, la resistencia a la compresión a los 7 días de edad, no deberá ser menor a  $100 \text{ Kg/cm}^2$ , la relación agua-cemento podrá variarse para satisfacer este requisito.

## 2.- DISEÑO DE ANCLAS.

En las últimas décadas se ha incrementado el uso de las anclas hecho por organizaciones especialistas en diseño y construcción de muros anclados y es un requisito indispensable para la ingeniería, el saber aplicar las técnicas de diseño de anclas a suelos que así lo permitan, desarrollando toda su capacidad a fin de optimizar las técnicas de retención de muros. Regularmente se usan los términos de tensores y anclas, como los dos más importantes elementos de retención de muros, las anclas se construyen mediante la perforación en el suelo o roca, el elemento de tensión lo constituyen barras o cables de acero, ahogados en una lechada de cemento-arena, agua y bentonita, la cual forma el cuerpo de ancla, en el caso de los tensores el alma de acero o tensor se distribuye a lo largo de la perforación quedando ahogado en el extremo inferior de esta en un muerto de concreto y en el extremo opuesto este tensor se asegura a la estructura de retención. El ancla a diferencia de los tensores desarrolla su insistencia a través de la fricción generada entre el cuerpo del ancla y el suelo que la rodea.

El propósito de los muros anclados con tensores es aplicar una fuerza de tensión a la estructura la cual se logra mediante una precarga al ancla a base de gatos. El tensor no solo debe tener la capacidad adecuada para la tensión sino que también debe mantener una capacidad mínima entre el ancla y la estructura. El ancla debe diseñarse también para que no empuje hacia afuera el suelo que la contiene debiendo asegurar que la masa de suelo sea estable.

El factor de seguridad debe ser compatible y adecuado a las condiciones de suelo y confiabilidad de los parámetros de este. Finalmente todos los muros deben ser pretensados, probados y dependiendo del diseño frecuentemente se toma la decisión entre el uso de anclas de fricción o tensores.

### 3.- ANCLAS.

Generalmente puede dividirse a las anclas por su tipo de perforación o tipo de ensanchamiento, según su forma. También pueden dividirse en el tipo de inyección de la lechada de concreto la cual puede ser a altas presiones o a gravedad.

El ancla mostrada en la figura es un ejemplo típico de ancla cuya capacidad se calcula mediante:

$$P_s = (A_c)(fg) = \pi da lafg \quad \text{donde:}$$

$P_s$  = Capacidad de anclaje.

$A_c$  = Área cilíndrica entre la frontera suelo-ancla.

$fg$  = Esfuerzo unitario entre la frontera suelo-ancla.

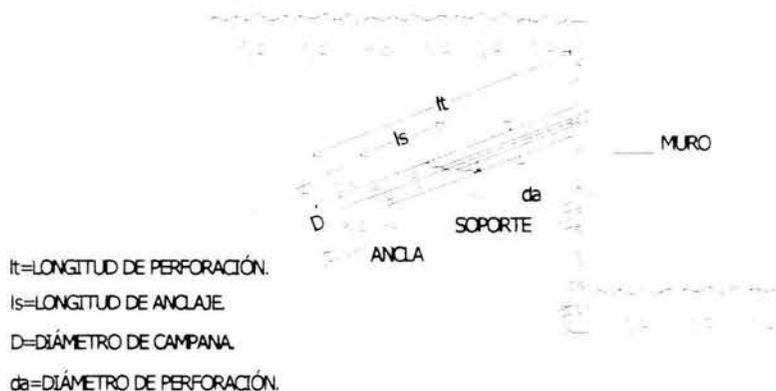
$da$  = Diámetro de la perforación.

$la$  = Longitud de la perforación.

El diámetro y la longitud son determinados por las dimensiones de la lechada o cuerpo de concreto. Otro tipo de anclas, perforadas y vaciadas bajo presión pueden ser construidas solo en perforaciones cuya capacidad para mantenerse abierta sea adecuada, este tipo es de las llamadas anclas acompañadas la cuál se representa en la figura.



El soporte de acero se coloca sobre un plato de acero que se ubica en lo profundo de la excavación (zona acampanada) y posteriormente se le adiciona la lechada de concreto. La capacidad del ancla viene desde el fondo de la perforación sobre el área de campana y por cortarse a lo largo de la perforación.



La capacidad de soporte en el fondo sobre el parea de la campana y la capacidad por cortante desarrollada entre el cuerpo del ancla y el suelo esta dado por la siguiente expresión:

$$Pb = Abpb + Asfg = \frac{\pi}{4} (d^2 - da^2) NcC + \pi dalsfg \quad \text{donde:}$$

$Pb$  = Capacidad de la campana del ancla.

$Ab$  = Área de soporte de la campana.

$pb$  = Presión de soporte de la campana.

$d$  = Diámetro de la campana.

$da$  = Diámetro de la perforación.

$Nc$  = Factor de capacidad de carga.

$C$  = Cohesión del suelo en la campana.

$ls$  = longitud del ancla de fricción.

$fg$  = Esfuerzo unitario entre el suelo y el ancla.

La campana del ancla es de concreto simple, lo cual es extremadamente difícil para analizar y en la práctica, este tipo de anclas no se construyen si no se cuenta con una experiencia adecuada.

#### 4.- LONGITUD DE ANCLAS.

En el análisis se considera que la longitud activa de las anclas se encontrara por detrás de las zonas de posible deslizamiento.

El ancla transfiere su carga al suelo a través de la resistencia friccionante entre la interfase ancla-suelo; Broms (1968) y Littlejohn (1970) establecieron la siguiente ecuación para estimar la carga por fricción.

$$P = P_i \tan \phi / DL \pi FR$$

donde:

$P$  = Capacidad del ancla, en ton.

$P_i$  = Presión de inyección de la lechada, Kg/cm<sup>2</sup>

$D$  = Diámetro de cuerpo del ancla, igual a 10 cm

$L$  = Longitud del ancla, en m

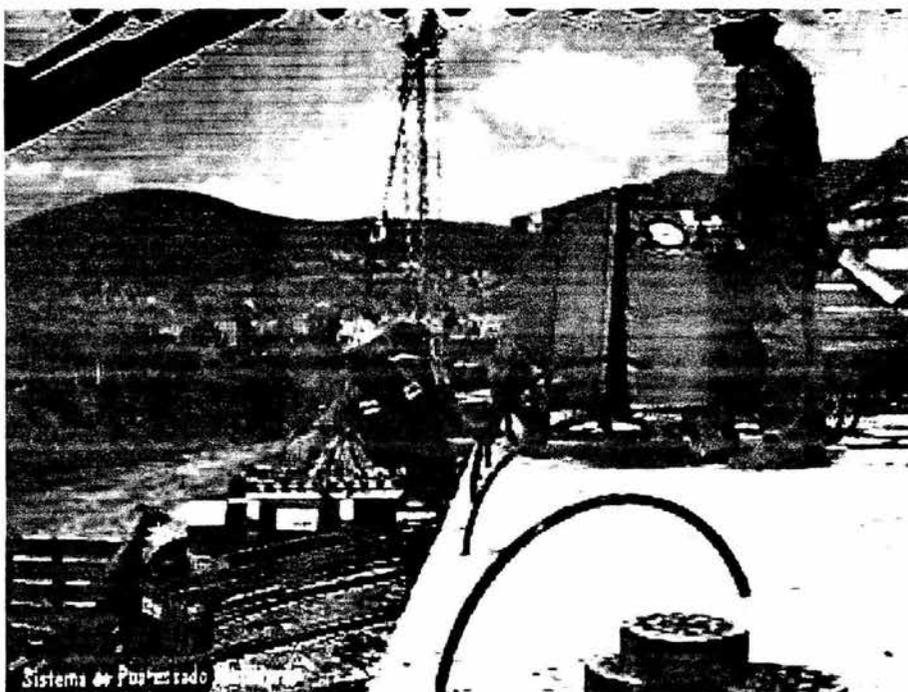
$FR$  = Factor de reducción igual a 0.7

## 5.- TENSORES.

Los muros modernos anclados, utilizan en alguna forma los tensores de acero perforados. Los tensores son barras o paquetes de cables perforados que tienen una capacidad de tensión adecuada para ligar la estructura de retención a las anclas. En la mayoría de los muros anclados el tensor es asegurado al ancla por la frontera de éste y la perforación mediante inyección a presión de lechado de cemento. Las anclas formadas y la lechada presentan su superficie con excelente adherencia, de manera que si prueba la tensión, solamente en unos cuantos centímetros se desarrolla la capacidad del ancla. En algunos casos la inyección de la lechada de cemento puede combinarse con las llamadas arañas que en estos casos se extienden y quedan empacados en la lechada. La selección de la capacidad del tensor es en base a la selección del tensor, para eso existen tablas de información con las técnicas para la elaboración de muros anclados como la que se presenta a continuación:

DIÁMETRO (PULGADAS)	ESFUERZO ÚLTIMO (Kip/in <sup>2</sup> )	ESFUERZO GARANTIZADO $F_{pu}$	MÁXIMA CARGA DE PRUEBA $0.8 f_{pu}$	CAPACIDAD DE DISEÑO $0.6 f_{pu}$	ÁREA TRANSVERSAL (in <sup>2</sup> )	PESO (lbs/ft)
1	150	127.8	102.2	76.7	0.85	2.96
1	160	136.3	109.1	81.8	0.85	2.96
1 ¼	150	187.5	150.0	112.5	1.25	4.40
1 ¼	160	200.0	160.0	120.0	1.25	4.40
1 3/8	150	234.0	187.2	140.4	1.56	5.31

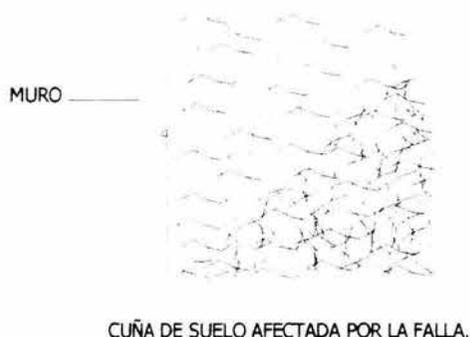
**CAPACIDADES COMUNES DE BARRAS DE TENSIÓN (kips).**



SISTEMAS DE POSTENSADO MULTITORÓN

## 6.- MUROS RETENIDOS CON ANCLAS.

Este tipo de muros se usa frecuentemente para soportar todo o alguna parte del empuje de tierras que actúa sobre él generalmente, los ingenieros especialistas consideran que la falla representativa para este tipo de muros es la que se representa en la figura.



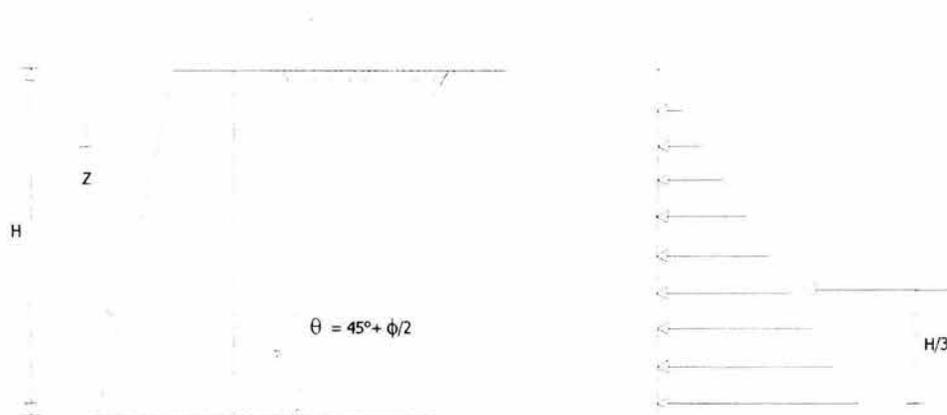
El muro y las anclas deben actuar juntos para resistir la presión aplicada sobre estos. El diseño de anclaje no solo considera la capacidad conjunta si no también la longitud que debe tener el ancla.

Existen pruebas para comprobar la capacidad de anclaje de los muros retenidos, obteniendo la carga de diseño a la cual podrán analizarse los muros, y una vez construidos se llevara un control de las capacidades reales de cada uno de los muros mediante pruebas de instalación.

## 7.- INFLUENCIA DE LA PRESIÓN DE TIERRAS EN EL TIPO DE MURO.

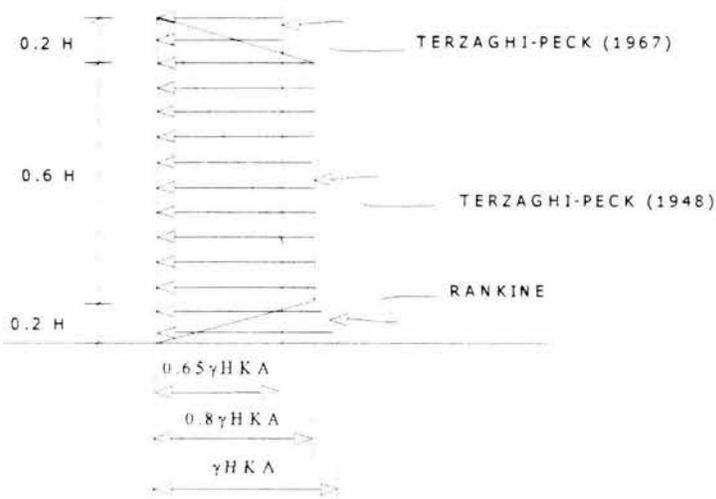
Antes de proceder a considerar algunos tipos representativos de muros anclados, debe reconocerse que se puede afectar la presión de tierras actuantes debido al tipo de construcción de muros seleccionados.

La presión de tierras se incrementa con la profundidad actuando sobre los muros que no estén retenidos, no así con los muros que están soportados mediante anclas. Rankine desarrollo el procedimiento analítico para el diseño de muros de contención tal como se muestra en la figura con lo cual lo relaciono con la presión horizontal en cualquier punto de la presión vertical. La concepción analítica es una envolvente de presiones triangular, sabiendo que la presión vertical corresponde al esfuerzo principal mayor y la presión horizontal será el esfuerzo complementario, de tal manera que la presión horizontal corresponde a una porción de la distribución de presiones verticales.



DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES HORIZONTALES

Cuando esta teoría se aplica al diseño de una excavación retenida por troqueles se presentan fallas. Varios investigadores han estudiado este fenómeno encontrando que las fallas se presentan en la parte superior de los muros debido a que sus cargas son mayores supuestas para el análisis. K. Terzaghi explico que la diferencia en presiones debe ser un resultado directo del tipo de construcción de los muros recomendando una distribución de presiones para el diseño. Si se examina la figura, esta muestra que la distribución de presión aparente de tierras tiene la forma de un trapecio y la fuerza total es mayor que la que se obtiene de una distribución triangular, considerando el caso depresión activa de tierras.



ENVOLVENTE DE PRESIONES CON LA PROFUNDIDAD

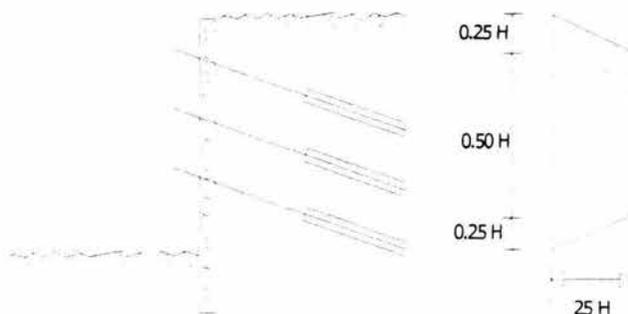
El muro debe ser estable considerando que puede resistir la presión activa de tierras. Algunos muros pueden desplazarse hacia el interior de la excavación de tal manera que la presión de reposo de tierras pueda reducirse a la presión activa de tierras. Una consecuencia de estos movimientos es que el muro con la cuña de material deslizante detrás de este deberán deformarse de tal forma y durante algún tiempo para que se genere el caso activo, si el diseño en base a presiones mayores a las activas deben de reducirse estos movimientos pero desarrollar mayor capacidad en la retención del muro. Los muros anclados pueden diseñarse para condiciones a corto plazo ó permanentes considerando presiones de tierra mayores a las que podrían resistir los muros temporales.

## 8.- PRESIÓN DE TIERRAS.

Después de seleccionar el tipo de muro apropiado, el siguiente paso del diseño de muros anclados es la selección de la presión de tierras. Desde que son instaladas las anclas como procedimiento de excavación, la presión de tierras en muros anclados debe distribuirse de acuerdo al diagrama de presión aparente de tierras de Terzaghi y Peck.

Los muros con talud mayor de  $90^\circ$  pueden manejar presiones menores y los diseños para altas presiones deben considerar la reducción de los movimientos del muro hacia la excavación. Si existen sobrecargas estas deben considerarse, así como la presión debida al agua freática.

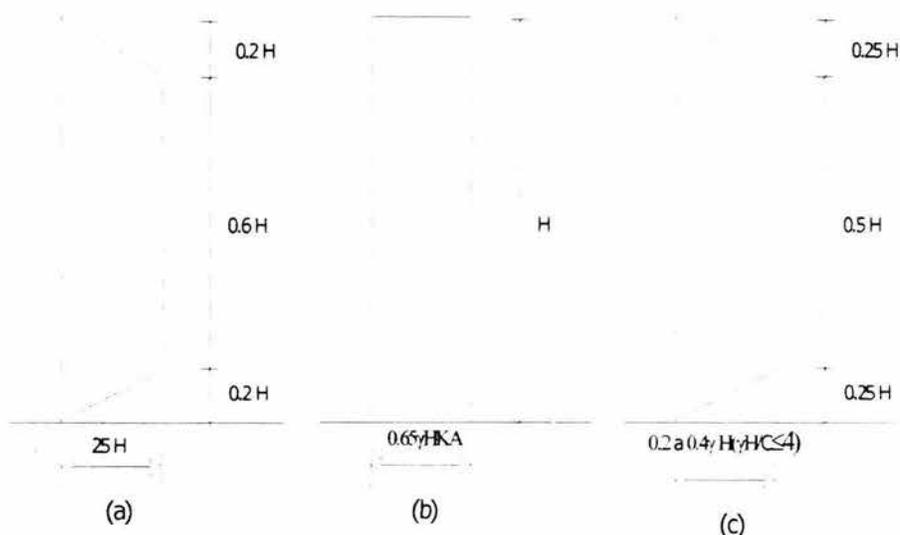
Se puede utilizar la presión presentada en la figura para el diseño de muros anclados la cual es muy semejante a la distribución propuesta por Terzaghi y Peck en 1948. Una diferencia entre la envolvente considerada anteriormente es que se utiliza para arenas, arcillas o mezcla de estos materiales, además de que la presión de tierras se expresa solamente en función de la profundidad de excavación. Para los demás casos esto no resulta muy diferente de las recomendaciones hechas por Terzaghi y Peck.



ENVOLVENTE DE PRESION APARENTE DE TIERRAS

Para ilustrar lo anterior se compara la anterior consideración con las hechas por Terzaghi y Peck para arcillas y arenas.

Existen dos buenas razones para considerar bajas presiones de tierras actuando sobre los muros, una de estas es la de aplicar una precarga al ancla y la segunda es la de proporcionar una pendiente al muro. Cuando se utilizan anclas es costumbre precargar cada una de estas hasta la carga de trabajo para que se garantice la estabilidad del muro.



COMPARACIÓN DE ALGUNAS CONSIDERACIONES DE LA PRESIÓN APARENTE DE TIERRAS  
 a) SCHNABEL, (b) TERZAGHI-PECK (arena), (c) TERZAGHI-PECK (arcilla)

Envolvente de Schnabel:  $p = 2.5 H$   
 $P = 20 H^2$

Envolvente de Terzaghi-Peck considera:  $\gamma = 125 \text{ lb/ft}^3$   
 $\phi = 35^\circ$   
 $K_A = 0.27$

(ARENAS)  $p = 0.65 \gamma H K_A = (0.65)(1.25H)(0.27) = 21.5H$   
 $p = pH = 21.5H^2$

(ARCILLAS)  $p = 0.2 \gamma H = 25H$   $\gamma = 125 \text{ lb/ft}^3$   
 $p = (p)(0.75H) = 18.75H^2$

## 9.- ESTABILIDAD DE MUROS ANCLADOS.

El análisis de estabilidad de muros anclados considera la acción del empuje de tierras sobre el muro y su resistencia al cortante a lo largo de las anclas, determinando la ubicación y longitud adecuada para garantizar un factor de seguridad adecuado.

Los posibles tipos de fallas para muros anclados son:

- a) Falla circular
- b) Falla por volteo.
- c) Falla por deslizamiento.

a) El análisis de estabilidad de muros anclados para el tipo de falla circular es el considerado y comúnmente usado en la práctica de la mecánica de suelos. Este análisis puede considerarse específicamente como una superficie de falla que se desarrolla fuera de la zona de influencia de las anclas y por debajo de la base del muro, fuera de este caso es difícil que se encuentre una condición de inestabilidad.



CONDICIÓN TÍPICA DE FALLA POR ROTACIÓN

b) En Europa se ha investigado al respecto y existen dos posibles fallas generalizadas por muros anclados, el análisis de estabilidad de falla se lleva a cabo para conocer la estabilidad del muro contra la falla de la masa de suelo que actúa fuera de la zona de influencia de las anclas y de la base del muro, existe también un análisis para determinar si la ubicación del ancla es capaz de resistir el movimiento de volteo de la masa de suelo. Para simplificar el análisis por volteo se considera una superficie recta que pase por la base del muro, el análisis puede considerarse como un deslizamiento de una cuña de suelo que haría fallar el muro hacia el interior de la excavación, tal como lo muestra la figura.



FALLA POR VOLTEO DE UN MURO ANCLADO

El análisis de estabilidad para un tipo de falla por volteo considera la acción de fuerzas activas y de resistencia tal como lo describe la figura.

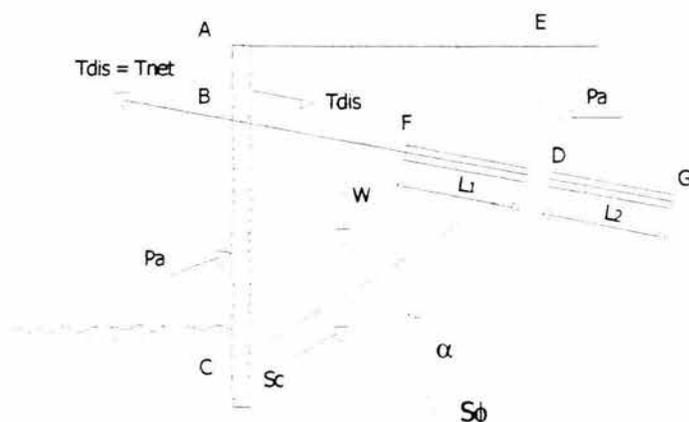


DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE PARA UNA SUPERFICIE DE FALLA POR VOLTEO

En el análisis por volteo el muro no se considera como parte integrante del diagrama de cuerpo libre y sólo son considerables las fuerzas actuantes debidas al suelo. Por esta razón, las fuerzas  $P_A$  y  $T_{dis}$  tendrán que ubicarse como lo muestra la figura. La ubicación de las fuerzas en el diagrama de cuerpo libre se predeterminan en el método de análisis, así los puntos A y E son localizados en la superficie del terreno natural, inmediatamente los puntos C y D. El punto C es elegido en el lugar en que la fuerza cortante en el muro es igual a cero, en otras palabras, C representa los puntos por el cual  $P_{An} - T_{dis} = P_{Ph}$ . El punto D se define únicamente como el punto medio de la longitud del cuerpo del ancla.

En este método de análisis, la carga total del ancla se toma para transmitirse en los puntos D y F. Las fuerzas actuantes en la masa de suelo son.

$P_a$ : Es el empuje debido a la presión del suelo sobre la superficie DE, esta fuerza se calcula con la presión activa de tierras.

$W$ : Peso de la masa del suelo dentro del cuerpo libre.

$P_a$ : Es la fuerza activa total actuando a lo largo de la superficie AC. La inclinación de la resultante está en función del ángulo de fricción interna.

$S\phi$ : La componente friccionante de la resistencia del suelo, esta fuerza se aplica considerando el ángulo  $\phi$  con respecto a la normal de la superficie de falla.

$S_c$ : La componente de la resistencia del suelo debido al esfuerzo cohesivo.

$T$ : La fuerza de anclaje. El diagrama de cuerpo libre corta al ancla en el punto B y D, la fuerza neta  $T_{net}$ , representa la suma vectorial de la fuerza de anclaje en el punto B y D. Dado que la fuerza en B debe ser mayor que la fuerza en D, la fuerza actuará en la dirección mostrada.

El factor de seguridad se define en términos de fuerza de anclaje,  $T_{max}$ , así:

$$F.S = \frac{T_{max}}{T_{dis}}$$

donde:

$T_{max}$ : Fuerza máxima posible actuando en la dirección del anclaje.

$T_{dis}$ : Fuerza de diseño.

Este método de análisis puede aplicarse a sistemas simples o múltiples de anclaje.



TIPO DE FALLA POR TRASLACION

c) El análisis de deslizamiento de cuña involucra la evaluación del empuje y fuerzas resistentes actuantes en el diseño del diagrama de cuerpo libre. Las fuerzas son sumadas vectorialmente mediante un diagrama para determinar la magnitud de las fuerzas resultantes no conocidas en el cálculo del factor de seguridad. El factor de seguridad contra deslizamiento de un muro anclado puede expresarse en función de la resistencia al corte del suelo o de la resistencia pasiva del mismo.

Un diagrama generalizado de cuerpo libre se presenta en la figura. En este caso el muro es parte del diagrama y por consiguiente, las fuerzas del muro  $H_s$  y  $V$ , se incluyen en vista de que el muro no fue parte de este diagrama, en el método anterior, las fuerzas del muro no se incluyeron en el análisis. También debido al cambio en la solución del diagrama, la fuerza pasiva debe considerarse y cambia también la dirección de la fuerza de anclaje.

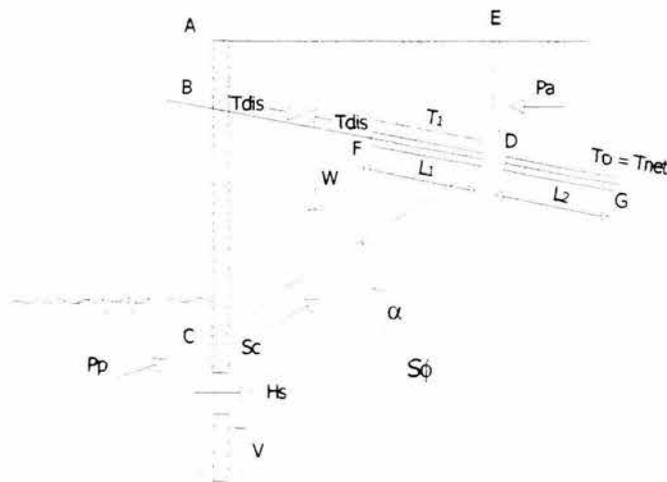


DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE PARA UNA SUPERFICIE DE FALLA POR DESLIZAMIENTO  
CONSIDERANDO UN SISTEMA DE ANLAJE SIMPLE

La fuerza neta de anclaje  $T_{net}$  se define como la fuerza de anclaje en la frontera de la masa del suelo, la cual es igual a:

$$T_{dis} - T_1 = T_0$$

donde:

$T_{dis}$ : Fuerza de anclaje de diseño.

$T_1$ : Fuerza de anclaje transferida al suelo entre el punto D y F.

$T_0$ : Fuerza de anclaje en la frontera del punto D.

El análisis de deslizamiento de cuña no especifica la ubicación de la superficie de falla. Algunas superficies de falla pueden analizarse proponiendo la geometría del ancla.

El factor de seguridad está en función del esfuerzo del suelo, así.

$$F.S = \frac{S_{aprov.}}{S_{mov.}}$$

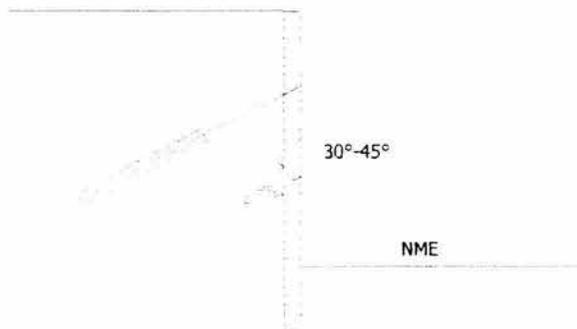
donde:

$S_{aprov.}$ : Esfuerzo constante aprovechable.

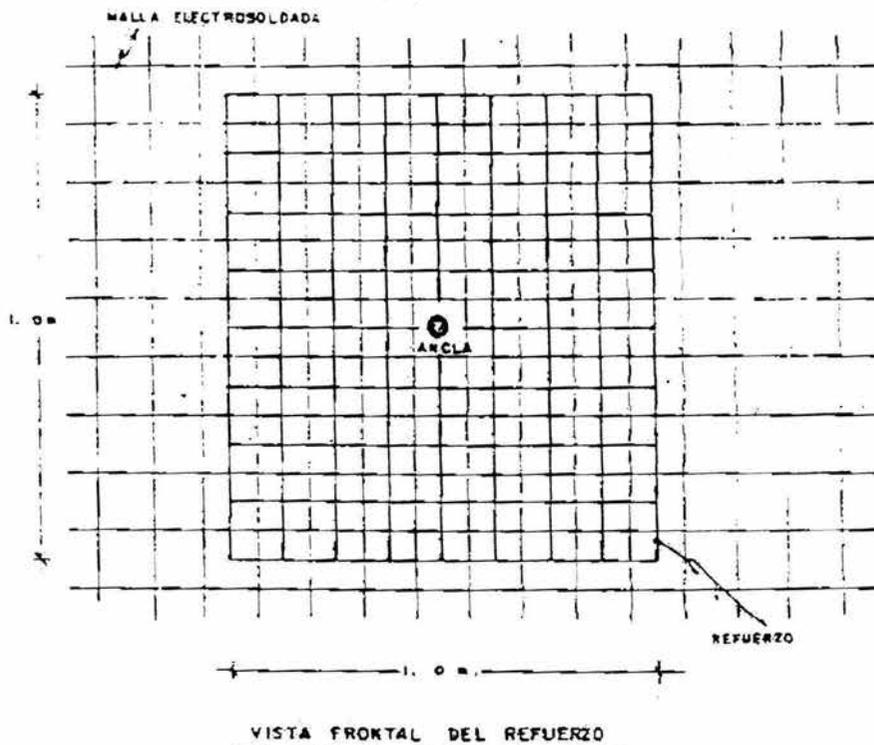
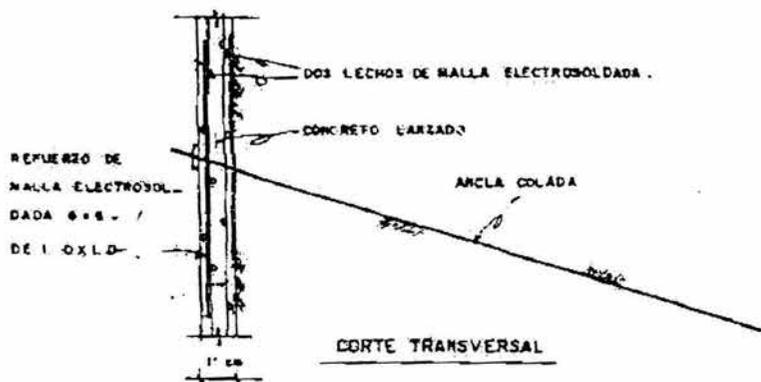
$S_{mov.}$ : Esfuerzo constante movilizado.

## 10.-UBICACIÓN DE LAS ANCLAS.

Un criterio para la ubicación de las anclas se basa en considerar que estas se desarrollan por detrás de la zona de influencia de las fallas considerables. En la práctica de los Estados Unidos se considera que la ubicación de las anclas depende de la pendiente que existe entre el muro y la superficie de la base de excavación con un ángulo de 30°-45°.



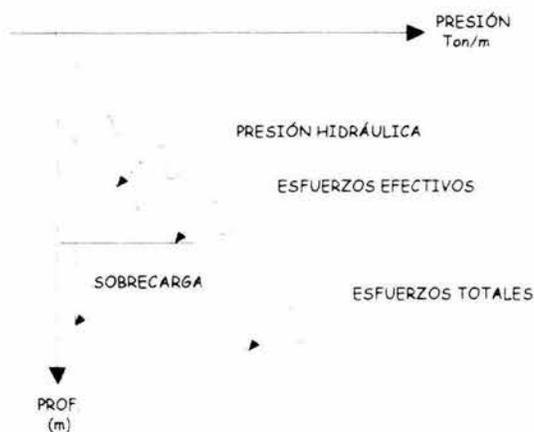
UBICACIÓN TÍPICA DE ANCLAJE



DETALLE DEL CONCRETO LANZADO DONDE SE UBICAN LAS ANCLAS.

Para el cálculo de la resistencia de las anclas se debe determinar lo siguiente:

- ❖ Determinación de las características de resistencia al esfuerzo cortante, peso volumétrico y contenido natural de agua del subsuelo.
- ❖ Elaboración de las gráficas de presión contra profundidad (esfuerzos totales) del suelo, (esfuerzo efectivo, presión hidráulica y sobrecarga).



- ❖ Transformación de los esfuerzos anteriores a esfuerzos horizontales en base al coeficiente de empuje de tierras activa ( $K_A$ ) cuyo valor será:

$K_A$  si  $S$

0.2  $> 10 \text{ Ton/m}^2$

0.3  $< 10 \text{ Ton/m}^2$

$S =$  Resistencia al esfuerzo cortante.

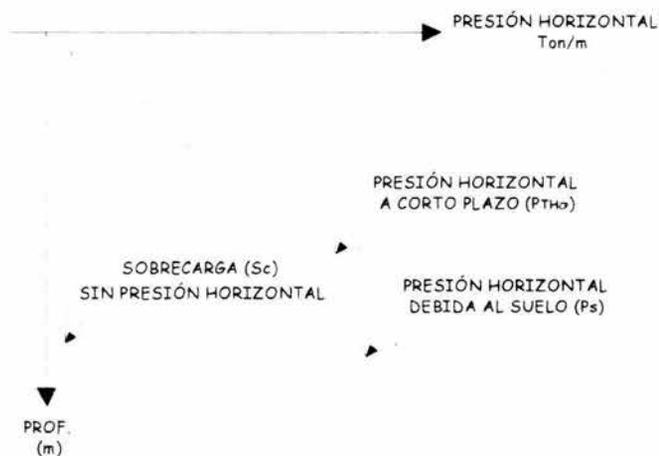
**CAPÍTULO IV**  
**SECUELA PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE ANCLAS.**

1.- CONDICIONES A CORTO PLAZO.

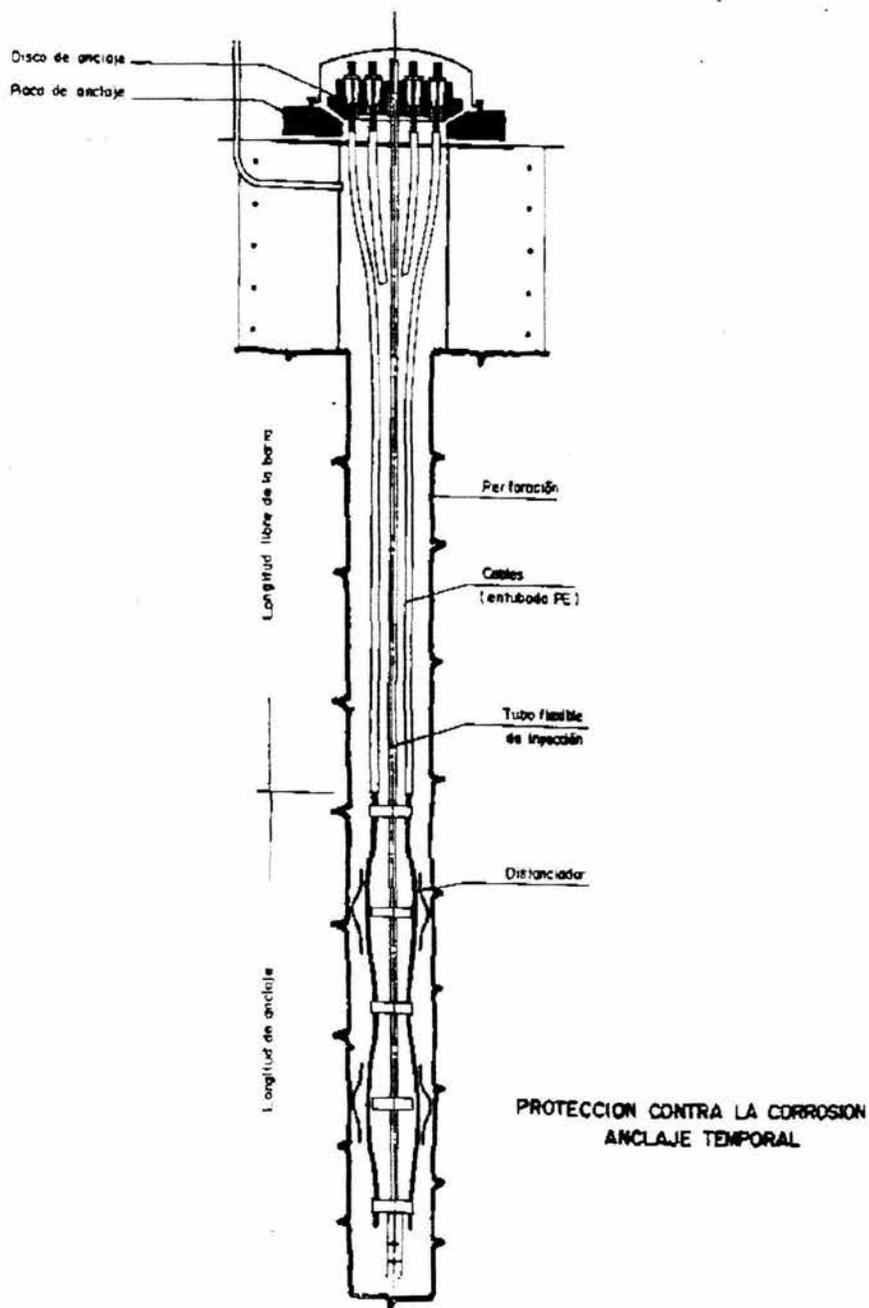
2.- CONDICIONES A LARGO PLAZO.

## 1.- CONDICIONES A CORTO PLAZO.

Para estas condiciones se considera que la presión hidráulica no actúa sobre las paredes del talud vertical ya que se alivia tal presión al momento de permitir el flujo hacia la excavación.



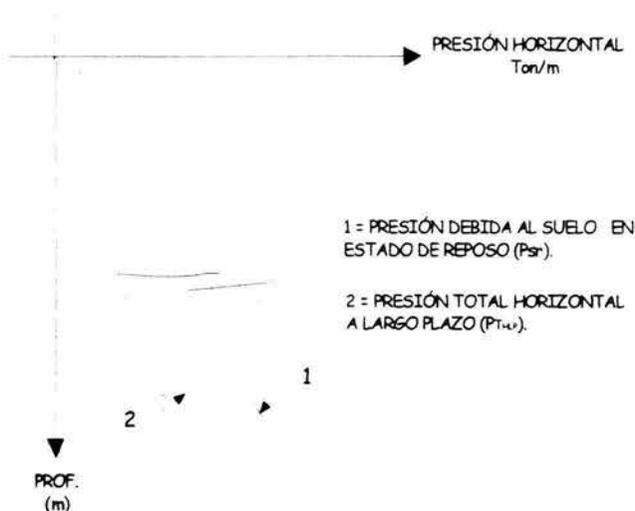
Por lo tanto la presión horizontal que se considerará a corto plazo será  $PT_{HCP} = (Ps+Sc)K_A^*$



PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN TEMPORAL.

## 2.- CONDICIONES A LARGO PLAZO.

Las condiciones de presión horizontal se rigen ahora, no por las condiciones activas sino por las condiciones de reposo de tierras, considerando un  $K_o = 0.5$



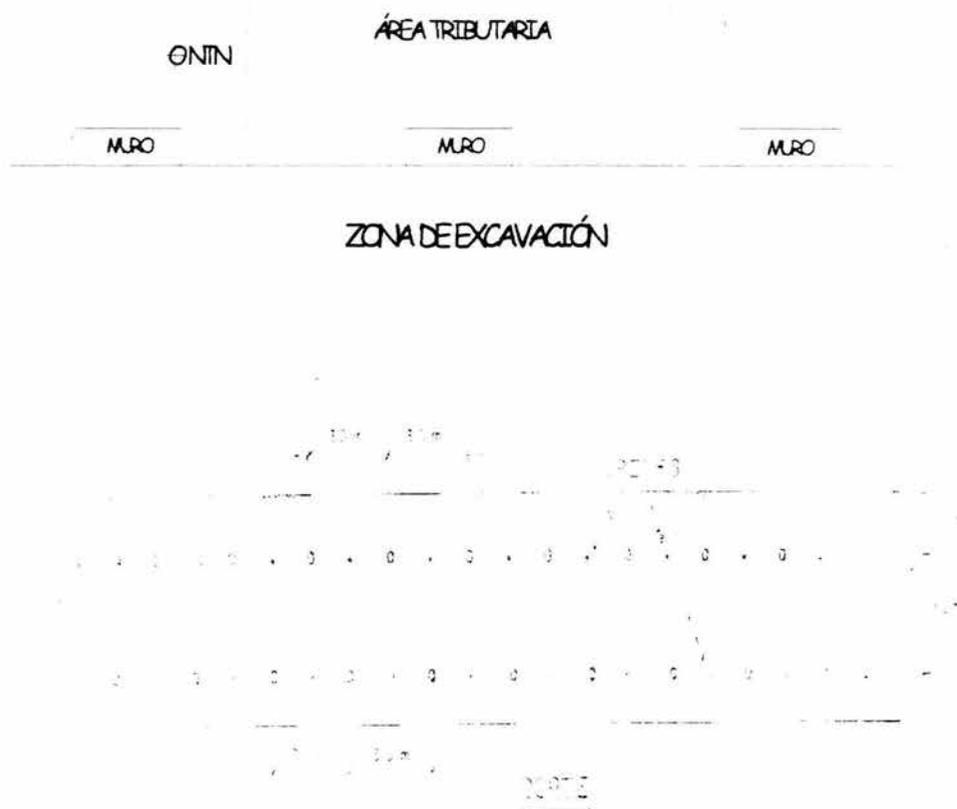
$$P_{Sr} = (\gamma H \times K_o) + \mu$$

Siendo  $\mu$  la presión hidráulica que en este caso se considera la debida al manto colgado.

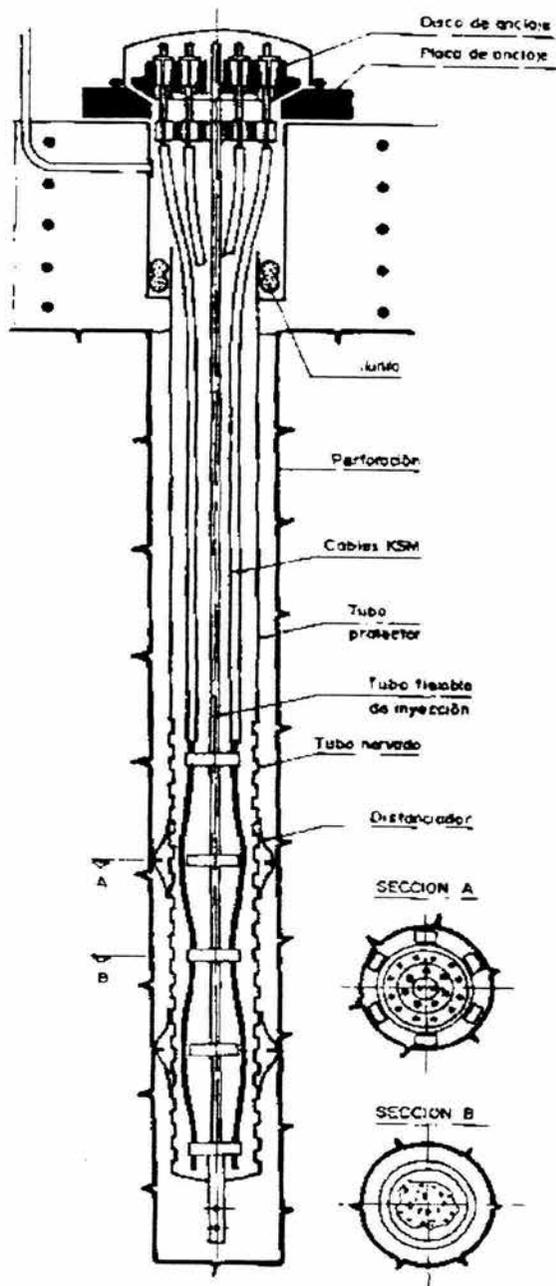
$$P_{T_{HLP}} = P_{Sr} - P_{T_{HCP}}$$

Debido a que las anclas soportarán de por vida los empujes considerados a corto plazo, y el residuo entre la presión del suelo (horizontal) en estado de reposo y la presión mencionada ( $P_{T_{HCP}}$ ) será la presión que soportarán los muros estructurales.

- Dimensionamiento de muros discontinuos y definición de la profundidad de máxima excavación:
- El dimensionamiento y ubicación debe de considerar áreas tributarias del empuje del suelo hacia los muros.

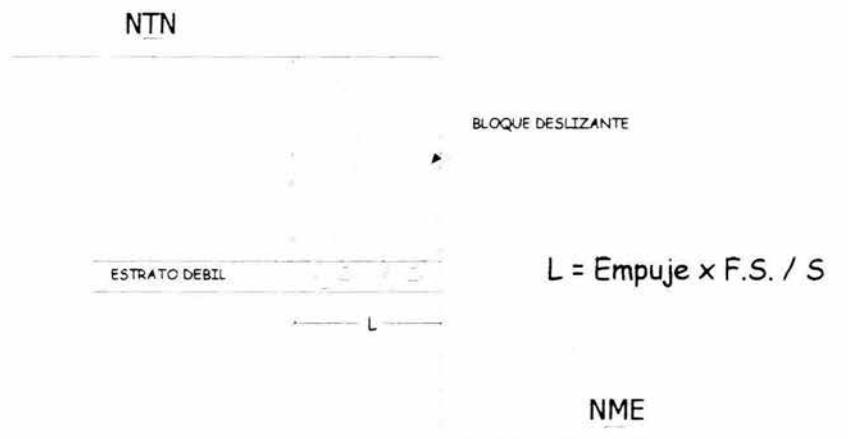


**LOCALIZACIÓN DE LOS DRENES EN EL MURO ANCLADO.**



SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN DE ANCLAJES PERMANENTES.

- Revisión de la longitud máxima del bloque deslizando del talud (falla por traslación) que está en función de:
  - Profundidad de la excavación.
  - De la resistencia mínima al esfuerzo cortante por lo cual puede deslizarse tal bloque:

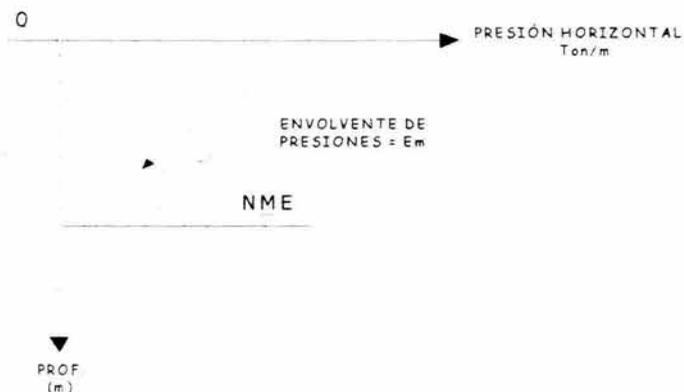


$S$  = Resistencia al esfuerzo cortante de la capa débil.

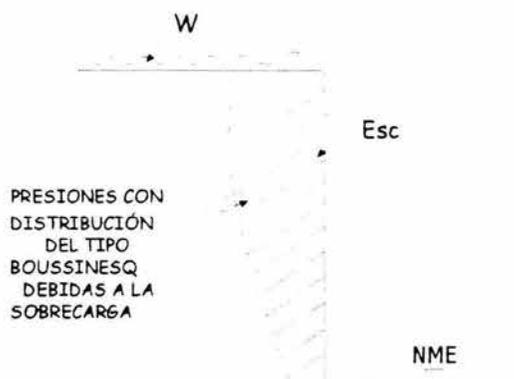
donde:

Empuje =  $E_m$ ,  $E_{sc}$  ó  $E_s$ .

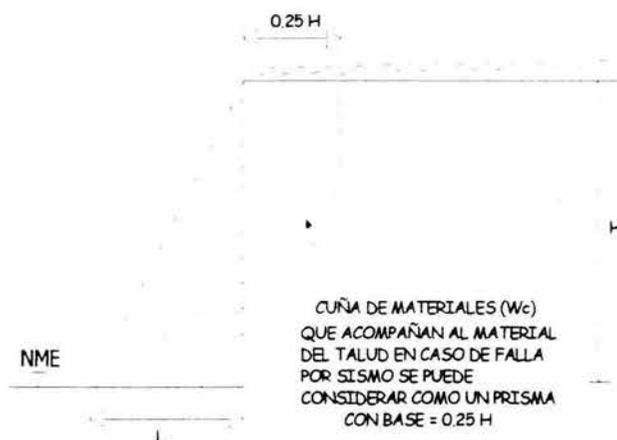
$E_m$ : Empuje de la masa del suelo, el cual se define como el volumen o la envolvente de las presiones determinadas para la máxima excavación.



Esc: Empuje o envolvente de presiones debidas a la sobrecarga en la corona del talud.



Es: Empuje debido a las acciones sísmicas. Conociendo la "L" necesaria para absorber los empujes en condiciones estáticas, se puede conocer el empuje  $E_s$  considerado.



$$E_s = \left( \frac{LxH}{2} x\gamma + W_c \right) C_s$$

$$W_c = 0.25HxHx\gamma$$

$C_s$  = Coeficiente sísmico.

El coeficiente sísmico tiene diferentes valores según los materiales que componen el talud, y se encuentran según el requerimiento del reglamento de construcciones del D.F.

- Considerada ya la longitud del bloque deslizante se estima la resistencia de las anclas por fricción suponiendo que la longitud del ancla que se desarrolle dentro de este bloque no contribuye con la resistencia del ancla. En suelos cohesivos (puramente o medianamente) se puede considerar que la resistencia al esfuerzo cortante es igual a la adherencia, esto es:

$$Adh = S = c + \sigma \tan \phi \quad \text{donde:}$$

$\sigma$  = Presión efectiva debido al suelo.

$\phi$  = Angulo de fricción igual a  $0^\circ$ .

c = Cohesión del material.

Adh = Adherencia entre el suelo y concreto.

La capacidad de las anclas se define de la siguiente forma:

$$Cap = (Long \times S \times F.R. \times \phi_{ANCLA}) \cos \beta \quad \text{donde:}$$

Cap = Capacidad de las anclas (proyección horizontal para un medio heterogéneo).

Long. = Longitud de la ancla (se tendrán diferentes longitudes y resistencias).

S = Resistencia al esfuerzo cortante.

F.R. = Factor de reducción igual a 0.7

$\phi_{ANCLA}$  = Diámetro del ancla supuesta de 4", 5" y 6".

$\beta$  = Angulo de inclinación del ancla con respecto a la horizontal.

- Los niveles de anclaje y número de anclas por nivel se definen de la siguiente forma:

- o Definición del nivel máximo de excavación.
- o Determinación de la longitud de pata del muro.



Para definir los empujes del suelo que soportaran las anclas, se obtiene una envolvente de empuje horizontal propuesta por Peck, donde:

$B$  = Es la base mayor de la envolvente igual a la profundidad de la excavación

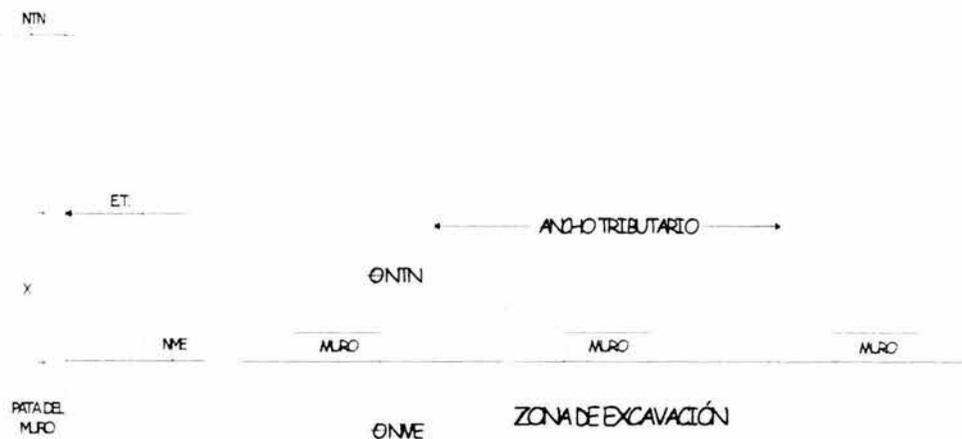
Considerando,

$$b = 0.75 B.$$

$h$  = Presión máxima de empuje horizontal.

La ubicación del empuje total se ubica en el centroide del trapecio y la magnitud del empuje será:

$$E_T = \text{Empuje total} = A \times \text{Ancho tributario.}$$



La capacidad de la pata del muro esta en función de la resistencia de los materiales por debajo del nivel de excavación y se define como:

$$CPm = S \times Am \times Lp \times F.R. \quad \text{donde:}$$

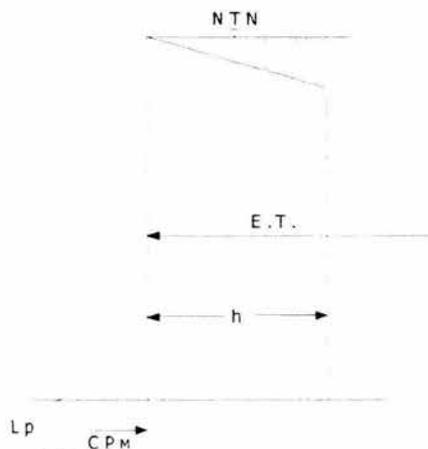
$Am$  = Ancho del muro.

$Lp$  = Longitud de pata.

$F.R.$  = Factor de reducción = 0.5

$S$  = Resistencia al esfuerzo cortante de los materiales saturados por debajo del nivel de excavación.

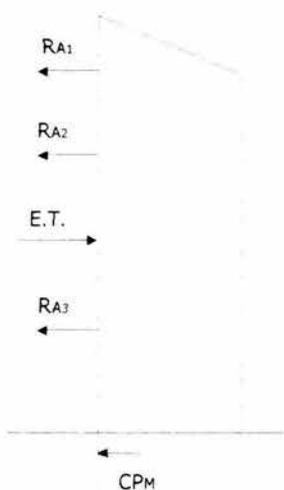
$CPm$  = Capacidad de la pata del muro.



La revisión de la estabilidad del muro se encuentra en base a un par de ecuaciones de equilibrio:

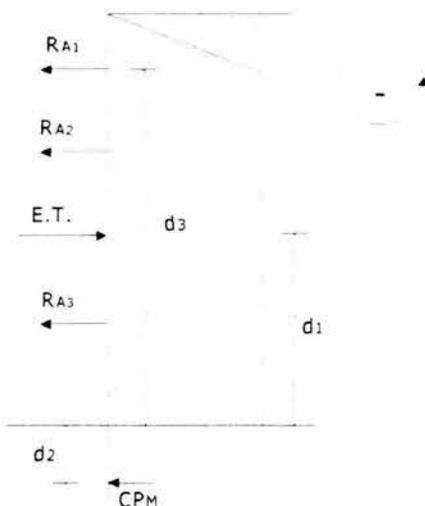
$$\begin{array}{l} \sum F_{HOR} = 0 \quad \text{y} \quad \sum M_x = 0 \\ \text{Si} \quad \sum F_{HOR} = 0 \quad ; \quad E_T - CP_M = CA \quad \text{donde:} \end{array}$$

CA = Capacidad de anclaje que puede dividirse en varios niveles, de tal manera de no concentrar un número de anclas en un solo punto, así puede considerarse:



RA1, RA2, RA3,....., RAn = Reacción del nivel del ancla propuesto, de tal manera que:

$$CA = RA1, RA2, RA3,....., RAn$$

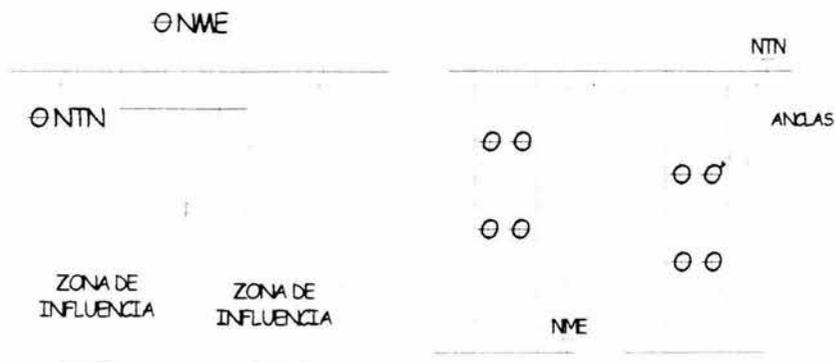


$$\sum M_x = E_T \cdot x d_1 + C P_M \cdot x d_2 - R_{A1} \cdot x d_3 - R_{A2} \cdot x d_4 - R_{A3} \cdot x d_5 - \dots - R_{A_n} \cdot x d_n$$

pudiendo definir dos niveles de anclaje con sus capacidades respectivas, se puede encontrar el último nivel de anclaje:

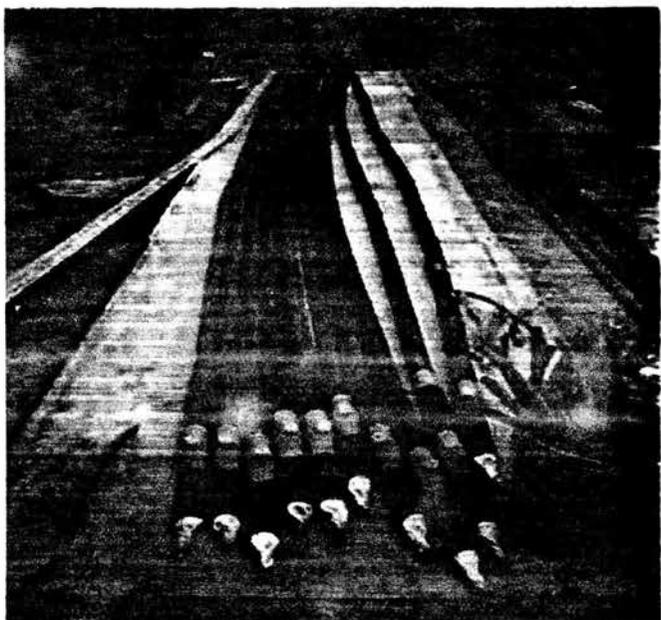
$$d_n = \frac{E_T \cdot x d_1 - C P_M \cdot x d_2 + R_{A1} \cdot x d_3 + R_{A2} \cdot x d_4 + R_{A3} \cdot x d_5}{R_{A_n}}$$

- La ubicación de las anclas se define de tal manera que no haya interferencia de una con otra en un mismo nivel y con los diferentes niveles propuestos, como se muestra a continuación.





ANCLAS SIN RECUBRIMIENTO.



ANCLAS CON RECUBRIMIENTO.

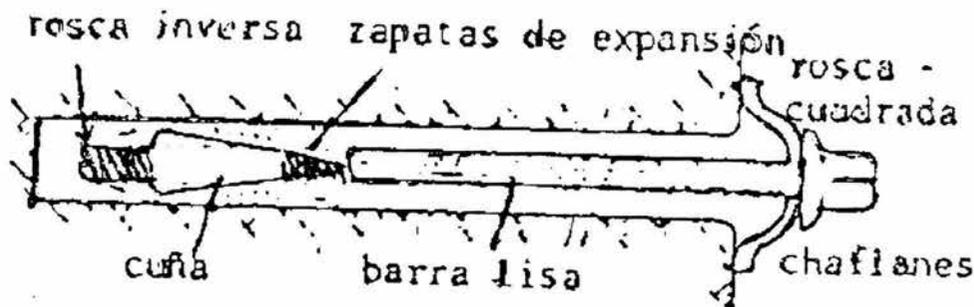
## CAPÍTULO V TECNOLOGÍA DE COLOCACIÓN DE ANCLAS.

- 1.- ANCLAJE DE SOSTENIMIENTO PUNTUAL.
- 2.- ANCLAJE DE SOSTENIMIENTO REPARTIDO. (ANCLAS DE FRICCIÓN).
- 3.- ANCLAJE CON BARRAS NERVURADAS HINCADAS EN EL TERRENO.
  - 4.- PERFORACIÓN DE BARRENOS.
  - 5.- CARACTERÍSTICAS DE LAS ANCLAS.
  - 6.- PUNTO O DISPOSITIVO DE ANCLAJE.
    - 7.- ANCLAJE PUNTUAL.
    - 8.- FIJACIÓN CON RESINA.
    - 9.- CARGAS DE RESINA.
  - 10.- NORMAS Y DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS.
  - 11.- COLOCACIÓN DE ANCLAS CON RESINA.
    - 12.- FIJACIÓN CON MORTERO.
    - 13.- TIPO DE MORTERO.
    - 14.- LA TÉCNICA "PERFO".
  - 15.- LAS TÉCNICAS DE LLENADO PREVIO DE MORTERO.
    - 16.- FIJACIÓN MIXTA.
- 17.- ERRORES QUE HAY QUE EVITAR DURANTE LA COLOCACIÓN DE ANCLAJE.
  - 18.- BARRA.
  - 19.- ANCLAJE DE BARRAS.
  - 20.- ANCLAJE PUNTUAL.
- 21.- ANCLAJE REPARTIDO (ANCLAS DE FRICCIÓN).
  - 22.- COLOCACIÓN DE PLACAS DE APOYO.
  - 23.- CONTROL DE ANCLAJE.
  - 24.- MEDIOS DE CONTROL.
- 25.- ENSAYES DE TRACCIÓN Y DE TORSIÓN SOBRE ANCLAS INSTALADAS.
  - 26.- PERNOS DE ROCA DYWIDAG.
  - 27.- INSTALACIÓN DE LAS ANCLAS.
  - 28.- INYECCIÓN DE LOS BARRENOS.
- 29.- PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD DE LA LECHADA DE INYECCIÓN.
  - 30.- TENSADO DE LAS ANCLAS.
- 31.- CUANTIFICACIÓN DEL MEJORAMIENTO RECOMENDADO PARA LA ESTABILIDAD DEL TALUD.
  - 32.- RECOMENDACIONES.

El anclaje del cual la tecnología es el objeto de este capítulo, constituye uno de los elementos más fundamentales que intervienen dentro de las técnicas modernas de sostenimiento, particularmente del nuevo método austriaco de construcción de túneles. De una manera general se distinguen tres grandes tipos de anclaje:

#### 1.- ANCLAJE DE SOSTENIMIENTO PUNTUAL.

El anclaje de sostenimiento puntual tiene por objeto el de conectar una vez que se tiene la superficie excavada a uno o varios puntos profundos de roca intacta. El anclaje se asegura por un dispositivo mecánico: perno a la grieta y cuña anteriormente y actualmente perno de anclaje de expansión, que constituye una versión moderna de la técnica precedente.



ANCLA MECÁNICA PUNTUAL

El anclaje simple (al fondo del barreno) o múltiple (en varios puntos) se obtiene por el bloqueo de 2 medias zapatas sobre la pared del barreno, seguido de la introducción de una cuña por tracción mecánica obtenida por atornillado. La puesta en tensión del ancla por preesfuerzo inducido por el enroscado de la tuerca de la cabeza del ancla o por la expansión o descompresión del terreno es indispensable para obtener eficacia de este sistema de sostenimiento.

La ventaja mayor del anclaje puntual es que su colocación es rápida, así como de eficacia inmediata. Esta eficacia no se mantiene más que durante el tiempo que la roca no sufra ningún movimiento a la vecindad del anclaje. Este tipo de anclaje puede además colocarse en caso de filtraciones de agua a través del barreno. La ausencia de recubrimiento, en el ancla limita su perennidad debido al riesgo de corrosión.

## 2.- ANCLAJE DE SOSTENIMIENTO REPARTIDO. (ANCLAS DE FRICCIÓN).

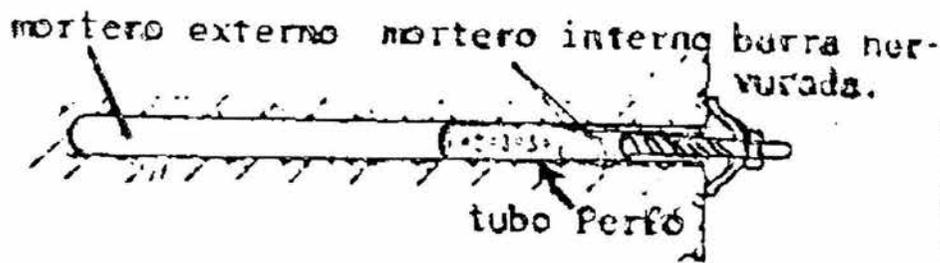
El anclaje de sostenimiento repartido consiste en armar la roca por medio de barras metálicas fijadas en toda su longitud, dentro del barreno de anclaje. El producto de sujetamiento es generalmente la resina o mortero de cemento.

- Sujetamiento con resina.

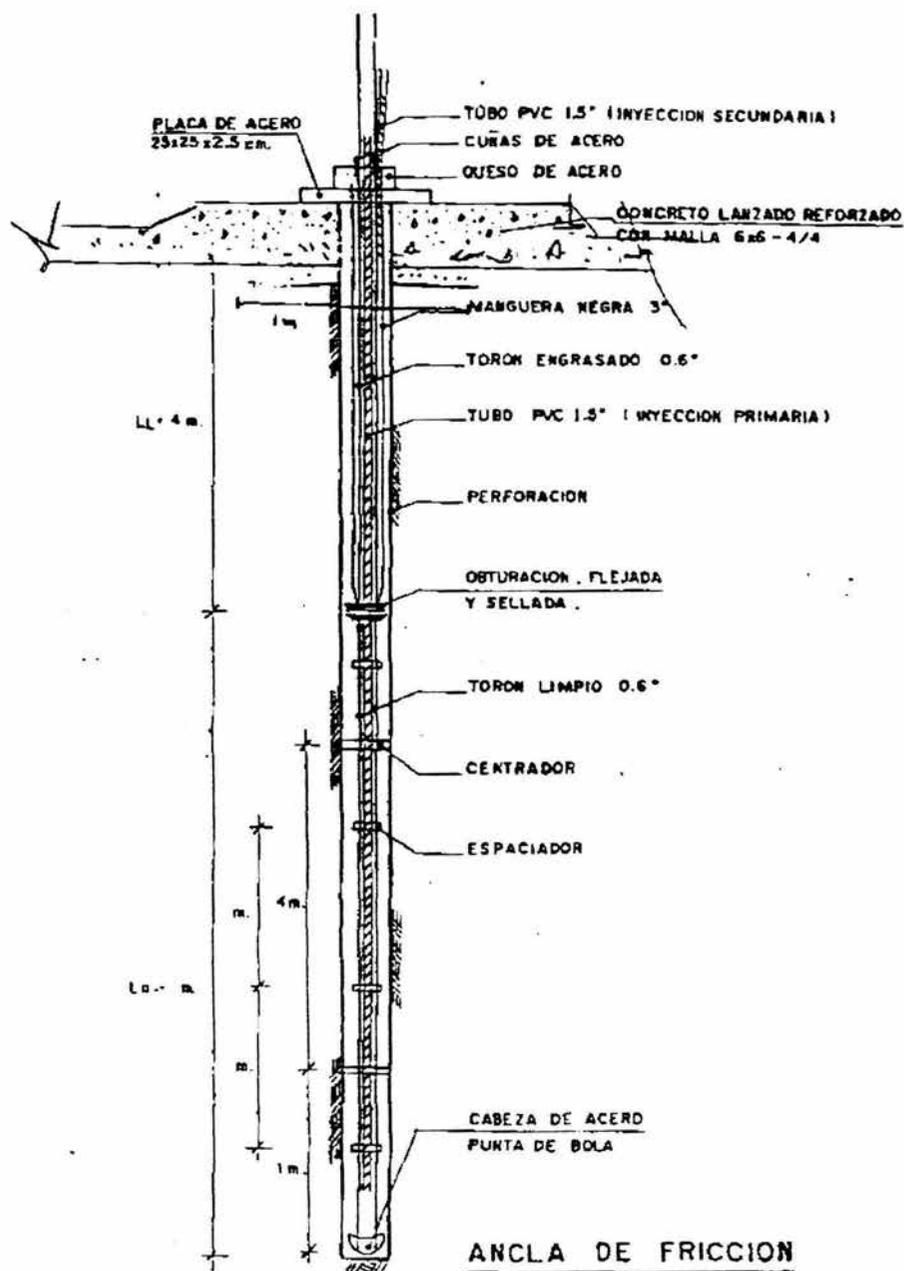
Este tipo de anclaje conviene en particular en las rocas sanas de baja porosidad (de intersticios o de fisuras) de tal forma que permitan una calibración perfecta del barreno al ancla. El juego entre el ancla debe estar comprendido entre 2 y 4 mm, teniendo en cuenta que el volumen de resina (producto relativamente caro) se introduce en cartuchos dentro del barreno, lo que significa que se está cuantificando en forma justa.

- Confinamiento con mortero.

Dos grandes tipos de anclaje con confinamiento de mortero se utilizan comúnmente, dentro de la técnica "perfo".



ANCLA CONFINADA EN MORTERO POR LA TÉCNICA "PERFO".

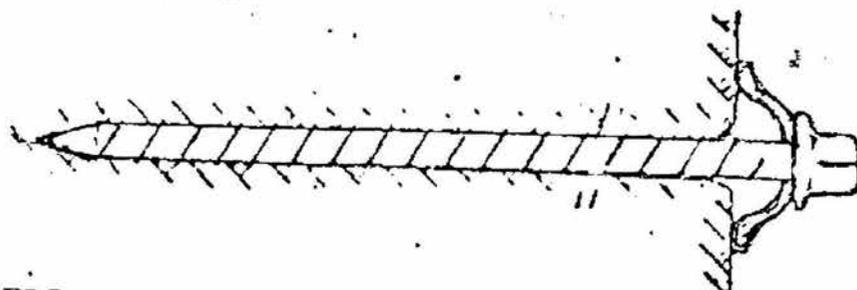


ANCLA DE FRICCIÓN.

El mortero se introduce por medio de 2 medios tubos metálicos perforados; en el segundo caso se inyecta mortero en el barreno de anclaje. El confinamiento con mortero inyectado se recomienda particularmente en los terrenos fisurados o muy heterogéneos. La utilización del mortero permite una tolerancia un poco más grande sobre el barreno de anclaje. El único imperativo es el de llenar todos los huecos.

### 3.- ANCLAJE CON BARRAS NERVURADAS HINCADAS EN EL TERRENO.

En ciertos casos particulares, el anclaje descrito en los incisos anteriores, no se puede realizar debido a la imposibilidad de perforar un barreno estable. Un anclaje útil puede sin embargo colocarse (naturalmente en los suelos con un ángulo de fricción interna alto) hincando barras nervaduras en el masivo; dichas barras tendrían una resistencia a la extracción más débil que la de las barras confinadas. Como toda ancla sin recubrimiento, la perennidad de las barras hincadas en el terreno puede ser limitada.



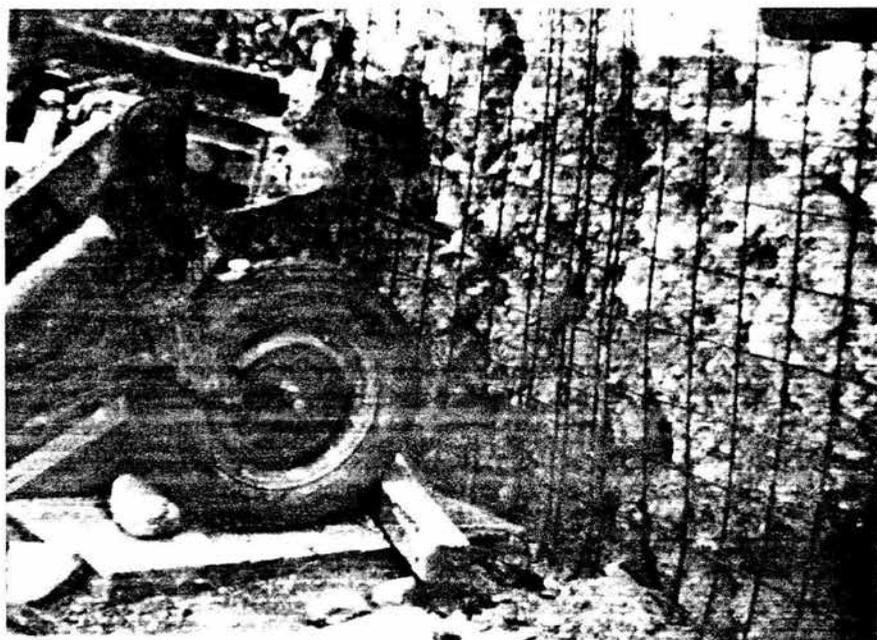
**ANCLAJE POR MEDIO DE BARRA NERVURADA HINCADA EN EL TERRENO**

### 4.- PERFORACIÓN DE BARRENOS.

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

Para las anclas de sostenimiento repartido, el diámetro de los barrenos de anclaje 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 con mortero. La técnica "perfo" requiere de diámetros particularmente de barrenación. La longitud del barreno de perforación (medido a partir del terreno y del revestimiento eventual) debe ser tal que cuando disminuyen la longitud de la rosca, para el anclaje con confinamiento de resina, la longitud óptima de perforación deberá ser rigurosamente respetada.

Dentro de lo posible, es conveniente orientar los barrenos perpendicularmente al sistema principal de fracturas del masivo granular rocoso a fin de disminuir al máximo las discontinuidades. El ángulo del ancla con la pared deberá ser más bien superior a  $60^\circ$ . Se recomienda que la boca del barreno, sea situada en lo posible en una zona de roca intacta sin fisuras.



EQUIPO DE PERFORACIÓN REALIZANDO EL BARRENO PARA ALOJAR EL ANCLA RESPECTIVA.



DIFERENTES VISTAS DE UNA MÁQUINA TRACK DRILL TRABAJANDO.

Al término de la perforación, hay que limpiar el barreno con aire comprimido ó con agua para asegurar una buena adherencia de la resina o del mortero a la pared del barreno de anclaje.

Puede ser útil si hay riesgo de caída de bloques durante las operaciones del anclaje, el proyectar sobre la superficie excavada una capa delgada (3 a 5 cm) de concreto sobreacelerado, llamada "capa de seguridad". Esta operación interviene antes de la perforación de barrenos de anclaje.

Durante la perforación de los barrenos, los errores más comunes pueden ser los siguientes:

- Ejecución de perforaciones mal orientadas.
- Perforación con barras muy grandes o muy pequeñas.
- Ejecución de barrenos de diámetro irregular (ovalación en la entrada), muy profundos (la entrada del barreno no queda confinada de resina o mortero), o más todavía es demasiado corto (una gran parte de la barra queda saliente).
- Pésima limpieza del barreno y de la anclas.

##### 5.- CARACTERÍSTICAS DE LAS ANCLAS.

En este trabajo, se designa por "punto o dispositivo de anclaje", la parte del ancla situada en el fondo del barreno y por "cabeza", la parte en superficie, la barra es la parte central.

La cabeza del ancla puede ser forjada ó roscada con una longitud de 12 a 15 cm y provista de una tuerca de 6 chaflanes roscados en 25 mm. Existen igualmente en el mercado barras nervuradas con tuercas especiales las cuales se pueden roscar directamente a dichas barras, sirviendo las nervaduras como rosca.

Por razones económicas, uno puede utilizar varillas para concreto cortadas y biseladas en el lugar, la rosca y la tuerca se remplazan por un apoyo que retiene la placa; es indispensable entonces el hincar el ancla hasta el fondo hasta que la placa sea bloqueada, este apoyo puede ser una cabeza forjada o embutida, sea por 2 pedazos de varilla soldados en la extremidad del ancla. Estas cabezas de anclas de apoyo fijo presentan el inconveniente de no poder ser desenroscadas cuando una convergencia excesiva de la clave lleva el ancla a la vecindad de su límite elástico.

La tuerca donde la reacción de la cabeza del ancla se apoya en general está constituida por una placa de acero de 6 a 8 mm de espesor y de 15 a 20 cm de lado. Es aconsejable que el centro de la placa presente una hendidura esférica, una contraplaca permite entonces al ancla orientarse oblicuamente con respecto a la pared normal. Si las cabezas de las anclas están provistas de tuercas, las placas serán entonces fijadas contra la pared después del endurecimiento de la resina (15 min. Aprox.) o de mortero (24 hrs.), con la ayuda de un dinamómetro se puede calibrar la tensión inicial del ancla. Si por otra parte el ancla no tiene rosca, la fijación de la placa se obtiene más o menos a largo plazo, seguida a la expansión (por descompresión) del masivo.

Cuando el sostenimiento comprende marcos metálicos, es frecuente que las anclas sean solidarias con estos últimos por intermedio de placas. Cuando la colocación de las placas de apoyo se hace en una sobre-capa de concreto lanzado, no armado, es aconsejable proceder a fijar la placa sobre el concreto fresco, con el objeto de obtener un mejor apoyo de la placa y un retaque de la parte cóncava de dicha placa.

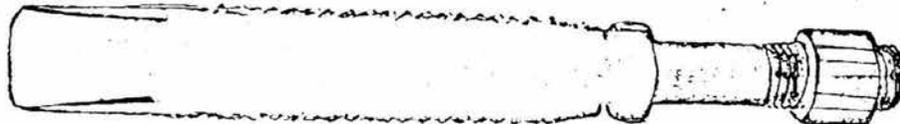
En los terrenos muy fracturados (de resistencia baja), es cada vez más necesario sustituir las placas de apoyo por placas metálicas (por ejemplo placas de envoltura) uniendo las anclas. Este blindaje asegura un ligero sostenimiento del masivo entre las anclas. En tales circunstancias, la densidad del anclaje debe ser aumentado.

La unión de la superficie entre anclas puede igualmente realizarse con malla metálica o por una capa de concreto lanzado, armado con malla metálica soldada.

- Las anclas serán de fricción y constituidas de una barra roscada de acero estructural, que para las anclas con 16, 20 y 21 ton serán de 1¼" de diámetro, y de 1" de diámetro para las 9 y 10 ton de capacidad.
- Para ayudar a transmitir la carga del tensor al cuerpo del ancla se empleará una placa de acero de 25x25 x 1.58 cm y será fijada al extremo del tensor.
- Las anclas deberá tener sus centradores distribuidos en toda su longitud para lograr una adecuada posición del ancla en el barreno de manera que se logre un espesor de lechada uniforme en el perímetro. Los centradores tendrán una separación de 3 m.

#### 6.- PUNTO O DISPOSITIVO DE ANCLAJE.

Las anclas de sostenimiento puntual terminan en un dispositivo de anclaje constituido una parte por 2 medias conchas (zapatas), las cuales se encuentran unidas por una abrazadera en la parte inferior; como 2ª parte, se encuentra una cuña forjada que va en el interior de las medias conchas. Un dispositivo de preanclaje del ancla es generalmente previsto para este tipo de anclas.



**DISPOSITIVO DE ANCLA DE TENSION.**

Las anclas de sostenimiento repartido (con confinamiento a la resina o con mortero) tienen la extremidad generalmente cortada en bisel para asegurar, en particular en el caso de confinamiento en resina, la rotura de los cartuchos en el momento de la introducción del ancla en el barreno cargado, de tal forma que la resina tome contacto con la barra del ancla y la roca.

El ángulo óptimo del bisel decrece con la longitud del ancla, de acuerdo a la tabla siguiente:

Longitud del ancla	Ángulo del bisel
2 m	45°
3 m	30° - 35°
4 m	20°

#### 7.- ANCLAJE PUNTUAL.

El anclaje mecánico puntual se obtiene por la introducción en la pared del barreno de dos medias conchas (zapatas) a la expansión producida por una cuña forjada la cual se desplaza interiormente por el enroscado de la barra. Las zapatas (generalmente en fierro colado) se incrustan al terreno en cuestión como en compresión radial. Durante la puesta en tensión (o pretensado) del ancla, el anclaje trabaja al esfuerzo cortante. Globalmente, el sistema de expansión mecánico utiliza pues, en parte restringida, las capacidades locales de la roca a la compresión y al esfuerzo cortante. Es pues indispensable que la roca sea de buena calidad en la zona de anclaje.

A este tipo de ancla se le llama auto-apretable, lo que significa que el mismo se pone en tensión automáticamente bajo el efecto de la descompresión o de la expansión del terreno. A pesar de esta ventaja, se recomienda hacer una buena tensión del ancla cuando se coloca; para este efecto el empleo de herramienta dinamométrica es aconsejable.

Existen en el mercado varios tipos de anclaje de expansión, el escoger el adecuado es un tanto delicado, ya que depende del tipo de roca por anclar. El anclaje óptimo se determina después de haber hecho ensayos previos en el sitio.

#### 8.- FIJACIÓN CON RESINA.

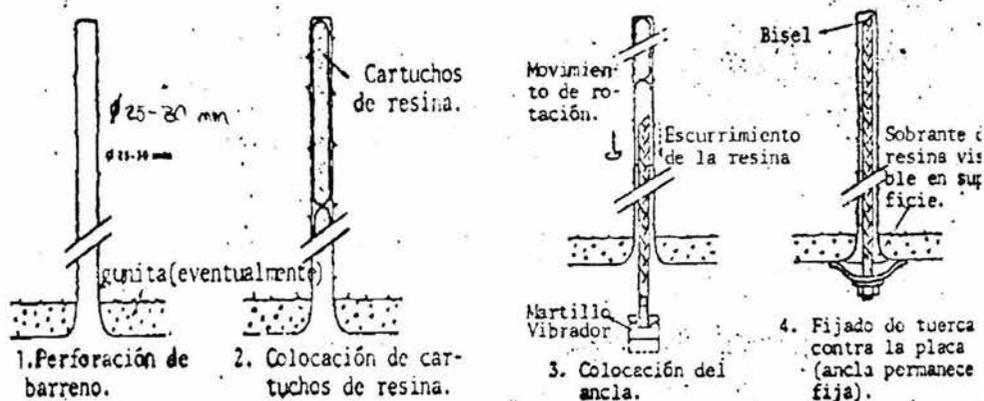
## 9.- CARGAS DE RESINA.

Las resinas del tipo poliéster, aseguran una fijación a muy alta resistencia. La polimerización se obtiene por la mezcla dentro del barreno de anclaje de dos componentes introducidos bajo la forma de cartuchos plásticos.

Estas 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.

Eventualmente una protección exterior (malla de plástico), provista de un collarín para retener las cargas dentro del agujero en pendientes fuertes (verticales), orientados hacia arriba. Las resinas presentan problemas de almacenamiento antes de su empleo: en efecto, sus características pueden decrecer rápidamente con el tiempo.



ESQUEMA DE COLOCACIÓN DE ANCLA DE FRICCIÓN CON RESINA.

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.

El estado de conservación de los productos almacenados debe ser objeto de un control constante, con el objeto de evitar endurecimientos prematuros indeseables antes de la colocación.

#### 10.- NORMAS Y DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS.

El manejo de diversos productos contenidos dentro de las cargas será un tanto mejor cuando el espacio anular entre el ancla y la pared del barreno sea más pequeña. Un espacio anular de 1 a 2 mm (medido entre la pared del barreno y la tangente circunferencial del ancla), constituye no obstante un mínimo. Las economías sobre el volumen de resina empleada pueden por lo mismo efectuarse siguiendo una buena calibración del barreno de anclaje (longitud, diámetro).

Por lo que concierne a escoger las cargas de resina, es recomendable observar que el volumen del espacio anular de por lo menos 5 a 10% (según que la perforación sea o no regular). Además para facilitar la introducción del ancla dentro del barreno cargado, la longitud total de la carga no puede sobrepasar el 90% de la longitud del barreno. Así que después de haber cuantificado el número de cartuchos para el volumen total en el porcentaje indicado, se retirarán aquellos de los cuales la longitud acumulada se aproxime más, por error del 90% de la longitud del barreno, con el objeto de tener una buena repartición de la resina en toda la longitud del ancla.

Para las fijaciones de longitud limitada, la calidad de resina introducida en el fondo del barreno se determina en función de la longitud del ancla y de los diámetros relativos del barreno y de la barra por fijar.

#### 11.- COLOCACIÓN DE ANCLAS CON RESINA.

La colocación de anclas fijadas con resina es una operación relativamente delicada. La forma de hacer la fijación de anclas será el siguiente.

- Después de haber limpiado el barreno, introducir un ancla o un fainero del mismo diámetro hasta el fondo del barreno, para garantizar la rectitud del mismo y que se encuentra sin obstrucciones, (esta precaución es indispensable en terrenos poco resistentes).
- Introducir las cargas, asegurándose de colocarlas hasta el fondo del barreno. La posición de las cargas de resina dentro del barreno de anclaje debe controlarse.
- Limpiar el ancla con un cepillo de hierro con el objeto de quitar el herrumbre (óxido), que se opone a una buena adherencia de la resina; eventualmente, desengrasar las anclas.
- Introducir el ancla (sin la tuerca) por medio de un dispositivo especial (fabricado en obra) que asegure la unión entre la perforadora y la barra roscada. (De preferencia usar una máquina montada sobre orugas especiales para barrenar y colocar anclas, en lugar de una perforadora trabajando ha roto-percusión). Se hace notar que el inconveniente de disponer de varios dispositivos para instalar las anclas en la obra, es que no pueden ser destornillados del ancla colocada hasta que la resina se haya endurecido (10-15 min.), lo que depende, de hecho, de la dosificación del acelerante.
- Iniciar al mismo tiempo el empuje y la rotación (más de 100 RPM) hasta la introducción del ancla.
- Regular el empuje para poder hincar la barra al fondo en menos de un minuto (tiempo suficiente para una buena mezcla del producto).
- Vigilar de mantener durante el tiempo de colocación la perforadora en el eje del barreno.

En el caso de presencia de agua, la fijación con resina se convierte en un problema delicado.

## 12.- FIJACIÓN CON MORTERO.

## 13.- TIPO DE MORTERO.

Los morteros utilizados para la fijación de barras de anclaje son en general morteros de cemento de alta resistencia y de fraguado rápido. Las dosis de mortero adoptadas para tales fijamientos son generalmente los siguientes:

Dosificación en peso:           Cemento 1  
  Arena fina 1  
  Agua 0.30 a 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 fijamiento deberá tener una contracción lo más baja posible, o en su defecto ser expansivo. La dosificación de agua de mezclado es seguido impuesta por la técnica de colocación del mortero dentro del barreno de anclaje (ver adelante). 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. Hay que prever eventualmente aditivos para dar plasticidad al mortero; la tixotropía del mortero permite la introducción de anclas empujadas por un martillo vibrador.

Es importante que al mortero le sean quitados por filtrado de malla, las partículas grandes que se puedan oponer a la penetración del ancla.

#### 14.- LA TÉCNICA "PERFO".

El procedimiento "perfo" consiste en introducir dentro de la perforación un tubo cilíndrico provisto de perforaciones laterales en número y dimensiones cuidadosamente estudiadas, lleno de mortero. El ancla retorcida o corrugada, pero de diámetro apropiado, se introduce dentro del tubo perforado previamente introducido a la perforación. La barra del ancla sirve de pistón y empuja al mortero por los agujeros laterales, lo que asegura el llenado de espacio anular.

El escoger el diámetro del tubo "perfo" y del ancla condiciona el buen llenado del espacio anular comprendido entre el ancla y la pared de la perforación. El volumen de mortero extraído por la introducción del ancla debe ser un mínimo del 10% superior al volumen de la oquedad entre el tubo perfo y el barreno de anclaje. A título indicativo los diámetros siguientes son recomendados (los diámetros más grandes corresponden a las anclas de mayor longitud).

$\phi$ mm	Ancla $\phi$ 20 mm	Ancla $\phi$ 25 mm
Barreno de perforación	30 - 36 - 40 - 44	38 - 42 - 46
Tubo "perfo"	27 - 31 - 36 - 40	31 - 36 - 40

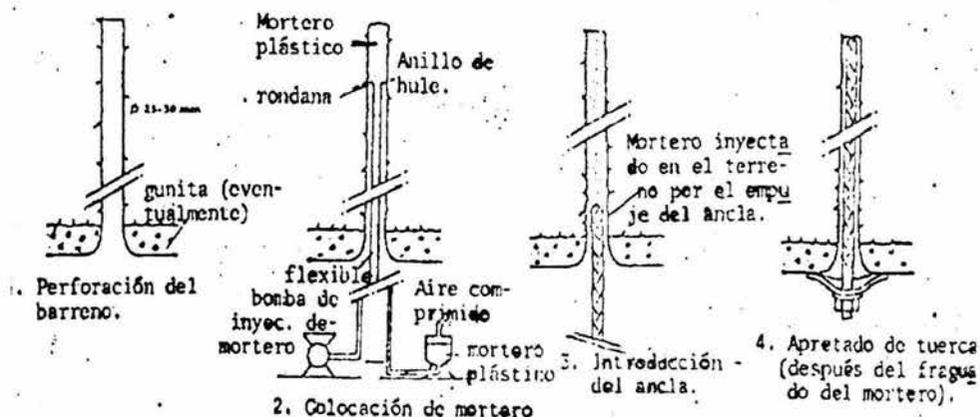
## 15.- LAS TÉCNICAS DE LLENADO PREVIO DE MORTERO.

El mortero puede igualmente ser inyectado en el barreno de anclaje después de la perforación y limpieza. El tubo de inyección se introduce al fondo del barreno. El mortero inyectado por la bomba de concreto o por aire comprimido, empuja el tubo hacia el exterior del barreno de anclaje.

Una cierta resistencia se opone a la salida del tubo, a manera de obtener un llenado perfecto de las oquedades naturales del terreno (terrenos de baja resistencia, con alta porosidad por fisuras). Al final del inyectado, un tapón (anillo inflado de hule p.c.) debe colocarse con el objeto de retener el mortero en el barreno en espera de la introducción del ancla. Para ciertas consistencias de morteros y también para los barrenos horizontales o poco inclinados, la utilización del tapón no es necesario (el mortero se detiene en la perforación por su propia consistencia).

El ancla se introduce en seguida en la perforación llena de mortero empujando a mano y eventualmente con la ayuda de un martillo vibrador para el último metro. El mezclado del mortero y sobre todo la introducción del ancla, contribuyen a incrementar el llenado de huecos del terreno (poros y fisuras); en efecto un volumen de mortero igual al volumen del ancla es inyectado dentro del terreno, lo que constituye una ventaja suplementaria de este método de anclaje.

Al final de la operación, el mortero debe ser ligeramente sobreabundante y derramar en la cabeza del ancla por el espacio anular entre el ancla y la roca. Los morteros deben ser plásticos, isotropos de fraguado rápido y de alta resistencia.



#### ESQUEMA DE COLOCACIÓN DE UN ANCLA CONFINADA CON MORTERO INYECTADO.

#### 16.- FIJACIÓN MIXTA.

En ciertos casos, puede ser ventajoso adoptar un fijado mixto de las anclas con un anclaje puntual de conchas de expansión o fijado parcial con resina (para obtener un efecto aceptable inmediato de anclaje). Una fijación o un recubrimiento con mortero dentro del espacio anular puede realizar a largo plazo un anclaje repartido (de fricción) que elimina los riesgos de ataque por corrosión de la barra de anclaje.

#### 17.- ERRORES QUE HAY QUE EVITAR DURANTE LA COLOCACIÓN DEL ANCLAJE.

#### 18.- BARRA.

Para la colocación de anclajes ligeros, entre otros, los trabajos subterráneos, las anclas de 2 a 5 m de longitud son generalmente utilizadas. Es deseable que las barras, lisas para las anclas de anclaje puntual, sea doblemente nervuradas para las anclas de sostenimiento repartido, a fin de aumentar la adherencia de la barra en el interior de la vaina de confinamiento. Las barras "en espina de pescado" pueden ser igualmente utilizadas.

## 19.- ANCLAJE DE BARRAS.

## 20.- ANCLAJE PUNTUAL.

La calidad del anclaje está ligada a las características mecánicas de la pared del barreno en la zona del anclaje. Las conchas (zapatas) de expansión necesitan localmente del terreno en una forma muy intensa. El anclaje desliza y el ancla se vuelve ineficaz por pérdida de pretensado. El deslizamiento puede ser casi instantáneo en los terrenos poco resistentes o en ciertos casos ocurrir a largo plazo, en función de la fluencia de la roca.

## 21.- ANCLAJE REPARTIDO. (ANCLAS DE FRICCIÓN).

Los errores importantes durante la colocación del anclaje de las anclas de fricción, intervienen durante la fijación y son generalmente los siguientes:

- Colocación del ancla muy rápido provocando un mal mezclado de los productos contenidos en las cargas de resina (formación de un mascote).
- Introducción parcial del ancla en un barreno perforado no obstante realizado a buena longitud.
- 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 productos de fijamiento (resina o mortero) de mala calidad mecánica de fraguado.

## 22.- 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 rocosa. Esta falta de cuidado es muy desfavorable para la eficiencia del anclaje.

Finalmente un ancla correctamente colocada debe salir del barreno 10 cm. y un excedente de resina o de mortero debe ser visible en el orificio del barreno. Es necesario asegurarse de lo anterior antes de colocar la placa.



POSICIÓN DEL ANCLA ANTES DE COLOCARLE LA PLACA.

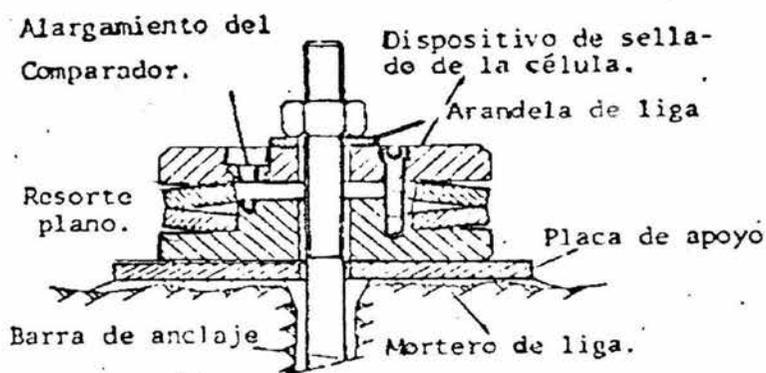
23.- CONTROL DE ANCLAJE.

24.- MEDIOS DE CONTROL.

Para asegurar la calidad y eficacia del anclaje, cinco tipos de control deben efectuarse:

- Un control de la calidad de los componentes (ancla, zapatas de expansión, resina, mortero); en particular el endurecimiento de diversos morteros considerados y sus características mecánicas (resistencia a la compresión simple) deben ser estudiadas antes del inicio de los trabajos.

- Un control estadístico de longitudes no fijadas de anclajes; para esto las placas de apoyo serán retiradas una por una, la longitud libre medida por medio de un alambre y las placas vueltas a colocar en su lugar.
- Pruebas de rompimiento in situ sobre el fijamiento de las anclas por tracción o torsión.
- Ensayes de extracción sobre las anclas pretensadas.
- Medidas de tensión en la cabeza del ancla por medio de células dinamométricas introducidas por instalación fija entre placa y tuerca, de donde la deformación es tomada periódicamente como un comparador.



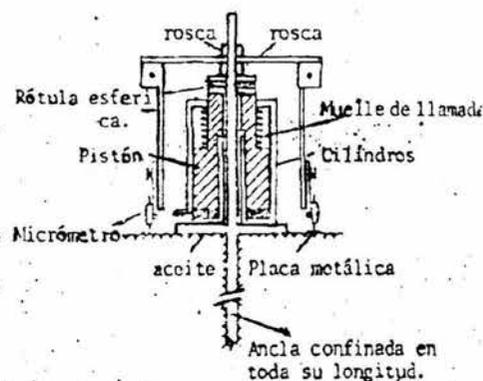
**CÉLULA DINAMOMÉTRICA PARA MEDIR LA TENSIÓN DE LA CABEZA DEL ANCLA.**

## 25.- ENSAYES DE TRACCIÓN Y DE TORSIÓN SOBRE ANCLAS INSTALADAS.

El control del anclaje propiamente dicho puede hacerse con la ayuda de un gato hueco, que permite jalar sobre la cabeza del ancla, apoyándose en la pared rocosa en el contorno de la placa de apoyo del ancla.

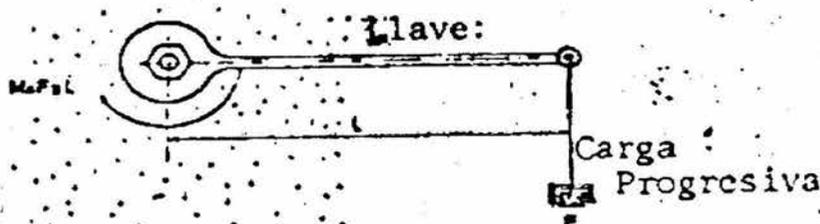


DISPOSITIVO PARA ENSAYE DE TRACCIÓN EN ANCLAS DE FRICCIÓN.



CORTE DE GATO HUECO UTILIZADO PARA EXTRAER UN ANCLA CONFINADA.

El alargamiento del ancla y del recubrimiento de resina o de mortero se mide con la ayuda de un comparador, lo cual permite trazar una curva esfuerzo-deformación característica importante del ancla fijada. Se obtendrá el valor de la presión o de la fuerza correspondiente sea a la extracción por socavado del anclaje (ancla y resina o mortero), sea el deslizamiento del ancla en el confinamiento, sea el incrustamiento de la placa de apoyo en el macizo rocoso, sea el fin a la ruptura de la barra misma. Este ensaye necesita que la cabeza del ancla este provista de un roscado que permita poder instalar el gato de prueba. Otro método consiste en medir el par de desconfinamiento del ancla aplicando un momento de torsión con la ayuda de una llave de brazo largo de palanca que se carga progresivamente. Este dispositivo no necesita que el ancla sea roscada.



DISPOSITIVO PARA ENSAYE DE DESCONFINAMIENTO DE UN ANCLA POR TORSIÓN.

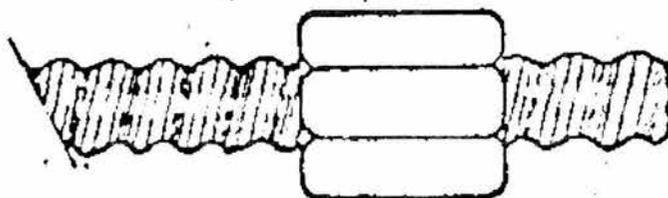
Una forma de probar el fijamiento asimismo, se hace necesario el hacer ensayos de extracción en las anclas de poca profundidad (0.50 a 1.00 m) de tal forma de evitar tener una ruptura en la cabeza del ancla. En fin todo valor de resistencia de un tipo de anclaje en un terreno dado será la medida de cuando menos cinco ensayos de tracción efectuados en condiciones idénticas.

Una dispersión así de grande de los resultados es en efecto observada, lo que hace necesario que todos los parámetros sean tomados con el más grande cuidado durante el ensaye.

En cada caso particular corresponderá al constructor definir el valor de las fuerzas de anclaje a esperar con una cierta probabilidad (80% p.e.). Para las anclas con mortero, una fuerza mínima podrá ser exigida a corto término (8 y 24 hrs.).

## 26.- PERNOS DE ROSCA DYWIDAG.

"BARROSCA" DYWIDAG: Según ASTM A615, Grado 60  
Según ASTM A722, Grado 150



**CABEZA DE ANCLA TIPO DYWIDAG.**

Los pernos barroscas DYWIDAG se pueden anclar en la roca o con la resina sintética, o con mortero de cemento, o con tacos de expansión. De los tres, el perno de resina es la solución más económica y técnicamente superior. Sus ventajas especiales son:

a) ROSCA CONTINUA.

Las corrugas en la barrosca DYWIDAG forman una rosca continua sobre toda la longitud de la barra. Cortando la barra en cualquier punto, siempre se encuentra la rosca para enganchar tuercas o acoples. Por más que se apriete la tuerca del perno nunca se acaba la rosca.

b) ROSCA CONTINUA.

Es casi imposible dañar la rosca tal que no permita mas el paso de la tuerca. Tampoco la existencia moderada de oxido o barro prohíben el enroscar de tuercas o acoples. Barro excesivo o concreto se pueden limpiar de la barrosca con golpes de martillo.

c) RESISTENCIA NO DISMINUIDA.

Contrariamente a otros tipos de pernos que tienen una reducción de 25 a 30% del área por la rosca fina laminada en frío, o peor todavía, cortada, la resistencia de la barrosca DYWIDAG no se disminuye en ningún punto. El punto débil de otros tipos de pernos se encuentra justamente en la sección que recibe la carga máxima en la combinación con las tensiones de flexión en el perno debajo de la tuerca.

d) PRECIO ECONÓMICO.

Como el área de la barrosca DYWIDAG no se reduce por la rosca, se puede reemplazar el tamaño del perno especificado con uno de un diámetro menor; por lo tanto, ello resulta en un ahorro en precio, flete y manejo.

e) INSTALACIÓN FÁCIL Y RÁPIDA.

La forma ovalada de la barrosca DYWIDAG no solamente es óptima para mezclar la resina, sino también permite el enganche sin rosca del acoplador para girar el perno. La tuerca camina diez veces más rápida en la rosca gruesa que en una rosca fina y tampoco es afectada por una rosca sucia.

#### f) ACOUPLE SIMPLE.

Un acople puede facilitar la instalación del perno en lugares limitados o permite extender un perno para que sirva como amarre de encofrado o barra de refuerzo.

#### g) INVENTARIO MÍNIMO.

La barrosca DYWIDAG se puede almacenar en tramos de 12.20 m y cortar en la obra a medida según las necesidades.

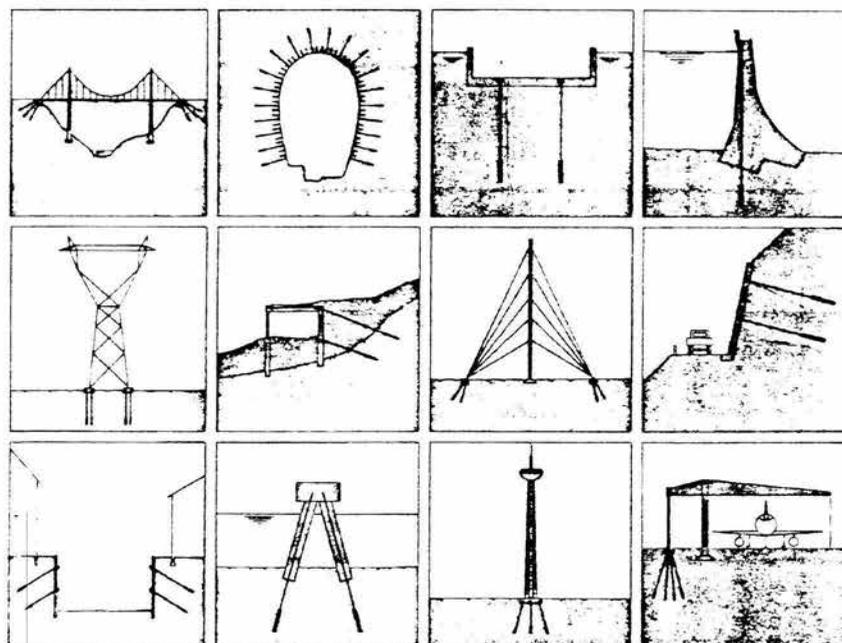
La misma barra se usa para todos tipos de pernos, los de resina, mortero o taco de expansión, todos con o sin tensionamiento. Los anclajes en tierra y anclajes en roca, han abierto toda una serie de nuevas posibilidades de construcción en la construcción subterránea y construcción en roca y resultan ya indispensables tanto para el aseguramiento temporal como también permanente de obras.

Los anclajes en tierra son anclajes inyectados empotrados en el suelo o en roca disgregada, en los que por medio de un elemento de tracción de acero y un cuerpo e inyección exactamente delimitado se aplican las fuerzas al suelo. En la zona no inyectada el anclaje mantiene la libertad de movimiento. En la parte exterior, dependiendo del elemento de tracción utilizado, el anclaje tiene lugar por medio de tuercas y placas o por medio de cuñas de apriete y discos de anclaje.

Los anclajes en tierra se utilizan fundamentalmente para:

- El anclaje dorsal de estructuras de zanjas de obras, por ejemplo tablestacas, vigas de estructuras, muros de pilotes y muros ranurados así como apoyos extremos de puentes.
- El aseguramiento contra la flotación, por ejemplo vasos de aguas subterráneas.
- La aplicación al subsuelo de fuerzas de tracción exteriores, por ejemplo para el arriostramiento de postes.
- El aseguramiento de fundamentos sometidos a cargas excéntricas intensas.

Los anclajes en roca son elementos de tracción pretensados situados en la roca, que se instalan en perforaciones y, en los que al menos el tramo de anclaje completo se encuentra en la roca. La fuerza de anclaje puede ser transmitida aquí al terreno con ayuda de mortero de cemento o mortero de resina sintética.



DIFERENTES FORMAS DE UTILIZAR UN SISTEMA DE ANCLAJE.

Los anclajes con holgura libre permiten el libre alargamiento de los elementos de tracción entre la cabeza de anclaje y el tramo de anclaje. De esta manera se mantiene la capacidad de revisión y postensado del anclaje. Por el contrario los anclajes bloqueados se unen con el terreno en arrastre de fuerza incluso en el tramo denominado de anclaje libre. Los anclajes en roca pueden ser instalados en perforaciones en cualquier dirección arbitraria, si bien con inyección de mortero de cemento se excluye de esto la zona de los  $\pm 10^\circ$  con respecto a la horizontal.

## 27.- INSTALACIÓN DE ANCLAS.

A continuación se indica en los siguientes puntos el procedimiento de instalación de anclas:



INTRODUCCIÓN DEL TENSOR EN LA PERFORACIÓN.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

Los anclajes en roca son utilizados principalmente para:

- El anclaje de fuerzas de tracción externas así como fuerzas de flotación.
- El anclaje de muros de apoyo.
- El aseguramiento de fundamentos sometidos a cargas excéntricas intensas.
- El anclaje de taludes, paredes de roca y tajos.
- Sistemas de anclaje y aseguramientos locales en cavidades en la roca.

## 28.- INYECCIÓN DE LOS BARRENOS.

- La mezcla a inyectar consistirá en una lechada compuesta por agua-cemento, en proporción 1:2, respectivamente.
- El agua a utilizar será limpia y deberá mezclarse perfectamente con el cemento para disolver todos los grumos y obtener una mezcla homogénea; una vez logrado esto, se colocará la lechada en el recipiente de la bomba de inyección.
- Para lograr la resistencia adecuada y fácil bombeo de la lechada se deberá usar una proporción agua-cemento de 20 litros de agua por un saco de cemento.
- Para efectuar la inyección se empleará una bomba de propulsión o neumática, que tenga un recipiente tal que permita inyectar con economía y eficiencia el volumen de lechada que requieran las anclas.
- La inyección se deberá realizar a una presión  $2 \text{ kg/cm}^2$ , en la forma siguiente:
  - a) Adaptar la manguera de la bomba al tubo integrado al tensor, iniciando la inyección desde el fondo de la perforación.

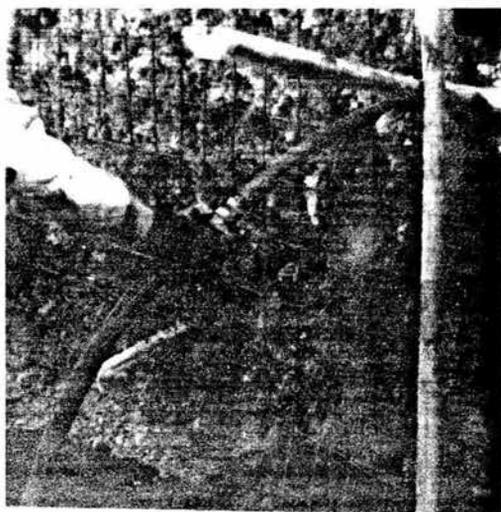
b) Accionar la válvula de salida de la bomba para iniciar la inyección, verificando mediante un manómetro que la presión no exceda del valor especificado.

c) Debido a las características de granulometría de los materiales que alojarán los tensores, el volumen de inyección no es posible precisarlo, por lo que al detectarse alguna fuga, en función del volumen calculado, se suspenderá la inyección y se reinyectará 24 horas después, hasta que la lechada retorne.

d) Antes del tensado, únicamente se inyectará la parte activa del ancla. En la longitud no activa se proporcionará una protección, a los elementos metálicos, contra oxidación.



**HABILITANDO EL SISTEMA DE  
INYECCIÓN.**



**COLOCACIÓN DE LA MANGUERA  
INYECTORA.**

## 29.- PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA LECHADA DE INYECCIÓN.

Con objeto de garantizar la adecuada capacidad de las anclas será necesario verificar la resistencia de la lechada empleada, para ello se deberá tomar cuando menos una muestra cada cinco anclas inyectadas.

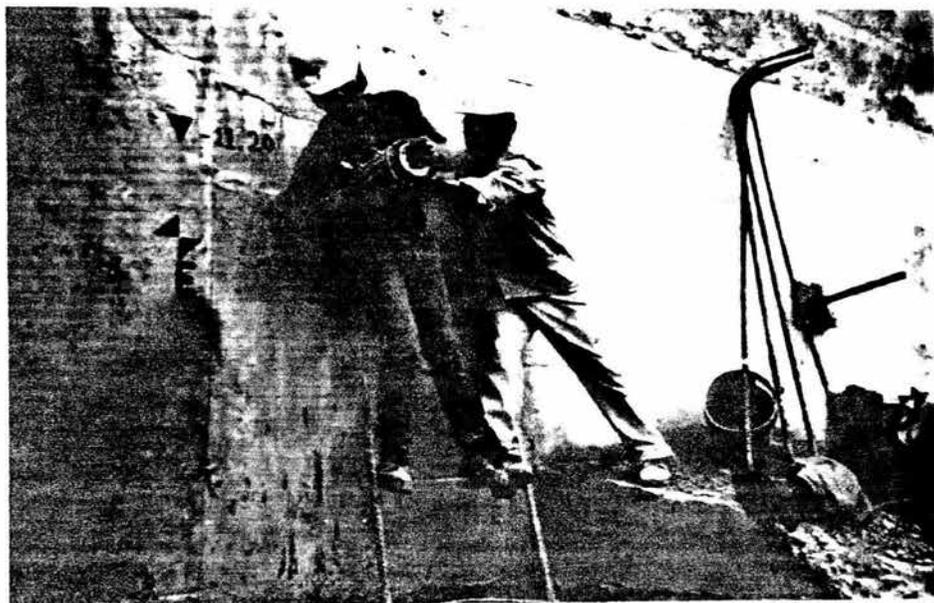
Cada muestra consistirá en tres probetas, las cuales se probarán a las edades de 1, 3 y 7 días; cada muestra deberá acompañarse de datos de fechas y localización en que se emplea la lechada.

Para considerar adecuadamente la lechada, la resistencia a la compresión a los siete días de edad, no deberá ser menos de  $80 \text{ kg/cm}^2$ , la relación agua-cemento podrá variarse para satisfacerse este requisito.

### 30.- TENSADO DE ANCLAS.

Las cargas de tensión se realizará en cada una de las anclas y el método de aplicación de la carga será el siguiente:

- a) Inicialmente se tensarán al 25% de su capacidad en un incremento de 25% de la tensión de proyecto.
- b) Una vez colocada el área central del concreto lanzado se aplicará la tensión en incrementos del 25% de la tensión de proyecto hasta alcanzar el 125% de la tensión de diseño.
- c) Se descargará en su totalidad el ancla, después de 5 minutos.
- d) Se volverá a tensar el ancla a la tensión de proyecto hasta alcanzar éstos y se sujetará el ancla a la losa de concreto lanzado.
- e) Se inyectará la parte no activa, a través de preparaciones dejadas expresamente para ello.



COLOCACIÓN DEL GATO HIDRÁULICO, EL CUAL INDUCIRÁ ESFUERZO AL TENSOR.



APLICACIÓN DE LA TENSIÓN (25 TON) Y EL REAJUSTE DE LAS TUERCAS.

### 31.- CUANTIFICACIÓN DEL MEJORAMIENTO RECOMENDADO PARA LA ESTABILIDAD DEL TALUD.

De acuerdo a los análisis efectuados se requiere proteger todo el talud con una capa de concreto lanzado aplicado sobre una malla electrosoldada anclada al talud y adicionalmente un nivel de anclas de 4" de diámetro y a cada 3 m. Adicionalmente para el volumen de obra deberá considerarse las siguientes notas:

- a) Dentro del concepto de colocación de malla electrosoldada 6x6-4/4 deberá incluirse las varillas para anclarla ( $\phi$  1/2"), las cuales se espaciarán 2.5 m y tendrán una longitud de 30 cm (en tobas) y de 80 cm (en rellenos). Además debe incluirse el afine del talud y la colocación de drenes, que serán tubos de PVC ( $\phi$ =1") y 40 cm de longitud espaciados 2.5 m (vertical y horizontal) los cuales deberán sobresalir en la malla 20 cm.
- b) Dentro del concepto de anclas deberá incluirse la perforación en el diámetro indicado, el suministro y habilitado del acero del ancla para la carga especificada y la inyección con lechada de cemento del ancla. Para las cargas especificadas se usará las siguientes varillas:

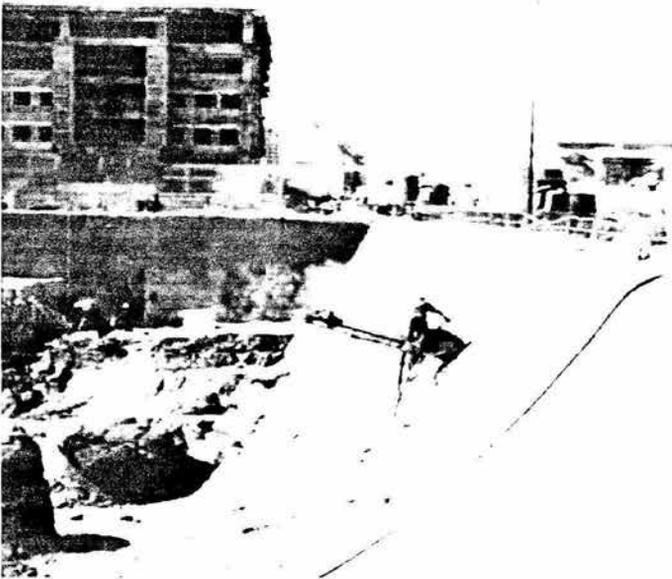
Carga	Diámetro varilla $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
9 y 10 ton	1"
16, 20 y 21 ton	1 1/4"

- c) El esfuerzo de malla de 1x1 m, incluirá el labrado de una "caja" de 6 cm en el corte.
- d) La resistencia del concreto lanzado sería de  $200 \text{ kg/cm}^2$

A continuación se presenta un resumen de la cantidad de obra requerida para estos trabajos de mejoramiento.

### 32.- RECOMENDACIONES.

Durante la construcción de mejoramiento de taludes deberán considerarse drenes para evitar el empuje hidrostático actuando sobre el muro de concreto el cual incrementa las fuerzas actuales y reduce el factor de seguridad.



TRABAJOS DE BARRENACIÓN PARA LA COLOCACIÓN DE DRENES.

Para observar el comportamiento de los taludes se recomienda llevar un control topográfico mediante la realización de nivelaciones y desplazamientos sobre testigos superficiales.

**CAPÍTULO VI**  
**ESPECIFICACIONES PARA LA COLOCACIÓN DE ANCLAJE Y CONCRETO**  
**LANZADO.**

- 1.- ESPECIFICACIONES DE CONCRETO LANZADO.
  - 1.1.- RESISTENCIA ESPECIFICADA DEL CONCRETO LANZADO.
  - 1.2.- PRESIONES TEMPORALES SOBRE MUROS DE CONCRETO LANZADO.
  
- 2.- ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE ANCLAJE.
  - 2.1.- PERFORACIÓN Y SELLADO DE BARRENOS.
  - 2.2.- CARACTERÍSTICAS DE LAS ANCLAS DE FRICCIÓN.
  - 2.3.- RECOMENDACIONES PARA LA INYECCIÓN DEL BARRENO.
    - 2.4.- PRUEBAS EN LA LECHADA DE INYECCIÓN.
    - 2.5.- PRUEBAS DE ANCLAS.
    - 2.6.- NOTAS IMPORTANTES.

## 1.- ESPECIFICACIONES DE CONCRETO LANZADO.

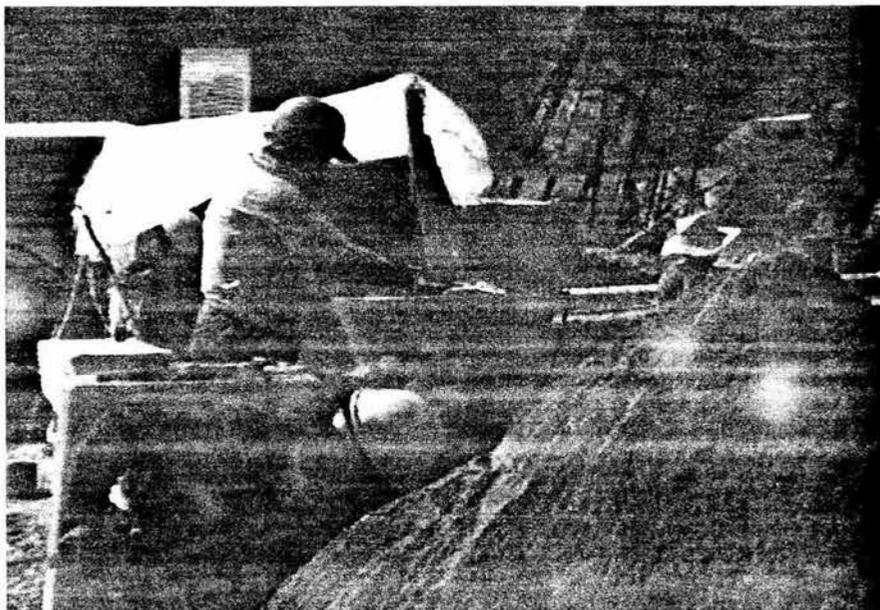
El concreto lanzado puede definirse como mortero o concreto transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a gran velocidad sobre una superficie. La fuerza de chorro, que produce un impacto sobre la superficie, compacta el material. Normalmente el material fresco colocado tiene un revenimiento cero y puede sostenerse por sí mismo sin escurrirse. Estas especificaciones se refieren a los requisitos que deberá reunir el concreto lanzado con el proceso de “mezclado en seco”, que contempla las siguientes etapas:

- ✓ Se mezcla perfectamente el cemento con la arena. (Las proporciones de los materiales que intervienen son variables) el cemento empleado es generalmente el Portland Normal, aunque también se usan cementos de alta resistencia, de rápido endurecimiento o resistentes a la acción de sulfatos, con diferentes arenas y gravas, ya sean naturales o artificiales.
- ✓ La mezcla de cemento - arena se almacena en un recipiente mecánico presurizado por medio de aire, llamado “lanzador”.
- ✓ La mezcla se introduce en una manguera de descarga por medio de una rueda alimentadora o distribuidor que esta dentro del lanzador.
- ✓ Este material se conduce por aire comprimido a través de la manguera de descarga a una boquilla especial. La boquilla esta ajustada dentro de un múltiple perforado a través del cual se atomiza agua bajo presión, mezclándose íntimamente con el chorro de arena - cemento.
- ✓ El concreto húmedo sale de la boquilla proyectado a alta velocidad sobre la superficie en que va a colocarse.

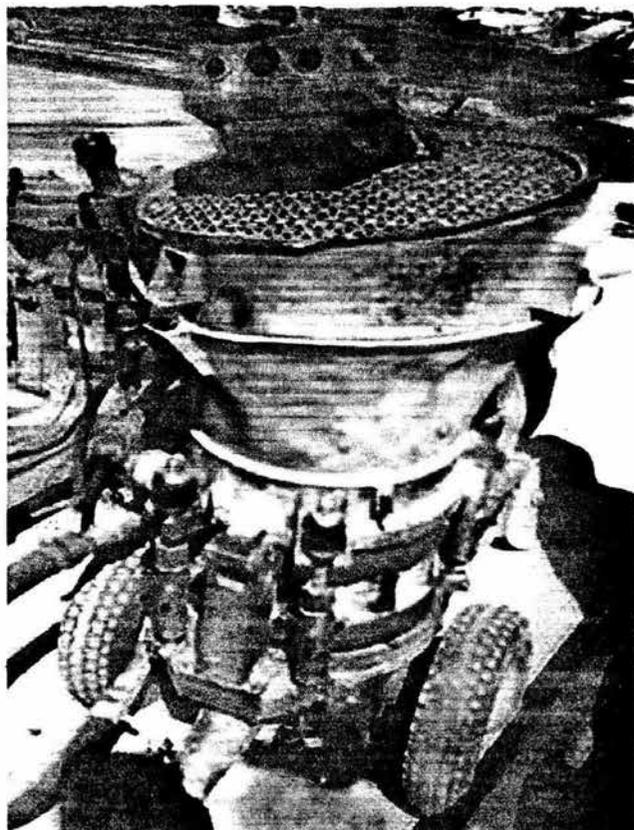
El concreto lanzado es frecuentemente más económico que el concreto convencional, debido a que necesita menos trabajo de cimbra y requiere solamente una pequeña planta portátil para mezclado y colocación en las áreas más inaccesibles. Una propiedad importante del concreto lanzado es su facilidad para formar una excelente adherencia con varios materiales. Tiene características impermeables aun en secciones delgadas y pueden usar aditivos para asegurar su impermeabilidad.

El concreto lanzado es muy útil como recubrimiento, ya que tiene una excelente adhesión, resistencia a la abrasión y resistencia mecánica. El concreto lanzado puede rellenar grietas fácilmente y moldear sobre cualquier forma por complicada que esta sea.

La aplicación del concreto lanzado requiere de equipo y mano de obra especializados, así como de materiales de buena calidad para poder cumplir adecuadamente su funcionamiento.



BRIGADA DE LANZADO ABASTECIENDO A LA MAQUINA LANZADORA CON CONCRETO SECO DURANTE LA COLOCACIÓN DE CONCRETO LANZADO.



**MÁQUINA LANZADORA DE CONCRETO.**

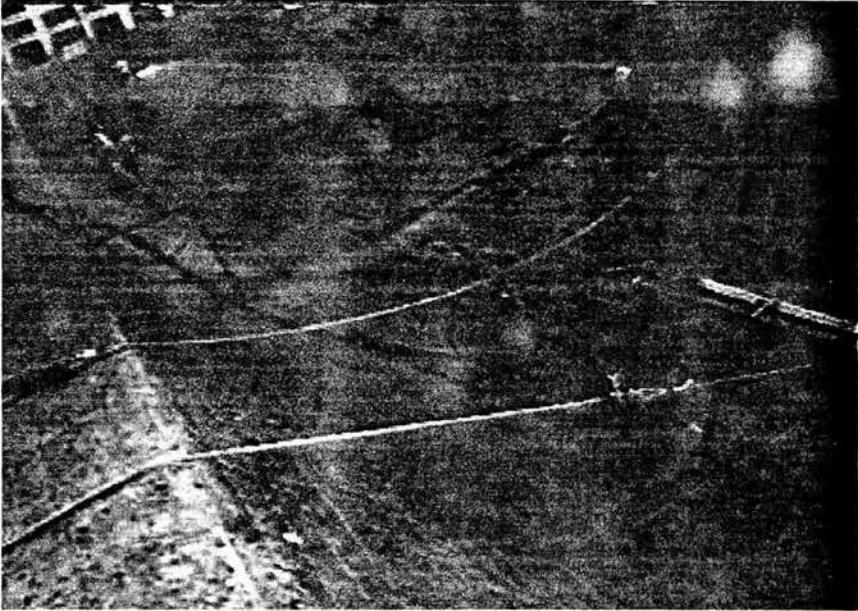
a) La calidad de una mezcla: La calidad de una mezcla para concreto lanzado depende de la relación agua-cemento, el tamaño de la graduación de los agregados, el tipo de cemento, los aditivos y la aplicación adecuada.

El procedimiento recomendado de preparación y aplicación de la mezcla es la siguiente:

Consiste en mezclar las cantidades predeterminadas de agua, cemento y agregados en un recipiente para luego lanzarlos en chorro a la pared del suelo. Los aditivos acelerantes deben añadirse en la boquilla, es decir, a la salida del chorro. Estos aditivos pueden estar tanto en forma líquida como en polvo.

La preparación y aplicación de la mezcla seca, depende de los factores siguientes:

- ❖ Granulometría adecuada en los agregados.
  
- ❖ La humedad de la mezcla antes de llegar a la boquilla, debe estar entre el 2 y 5%. Una humedad menor agravaría el problema del polvo y una humedad mayor taponaría las mangueras.
  
- ❖ Adecuado proporcionamiento agua-cemento. Esta operación es realizada en la boquilla por una persona muy bien entrenada.
  
- ❖ Características del rebote, que dependen tanto de los tres factores antes mencionados como en los siguientes:
  - El ángulo de lanzamiento debe ser normal a la superficie tratada.
  - La boquilla debe mantenerse de 1.0 a 1.2 m de la superficie tratada.
  - Las presiones del agua y del aire deben ser constantes y de 5.0 y de 5.7 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.
  - La alimentación del aditivo acelerante debe ser constante y fácil de ser variada en el momento en que se requiera (si la superficie está húmeda, deberá ser mayor la cantidad necesaria de aditivo).
  
- Mantenimiento del equipo: El manejo de la mezcla seca obliga a mantener limpio el equipo con mayor rigor que las operaciones con el concreto normal. La mezcla seca tiende a acumularse en las aspas de las mezcladoras. Tanto las boquillas como los alimentadores deben limpiarse inmediatamente cuando el ambiente es húmedo.
  
- Supervisión y operación de alta calidad: El personal de supervisión debe ser altamente calificado. Las cuadrillas de operación deben ser entrenadas adecuadamente.



**COLOCACIÓN DEL CONCRETO LANZADO SOBRE LA SUPERFICIE AFINADA Y CUBIERTA POR LA MALLA ELECTROSOLDADA.**

b) Características de las mezclas: La calidad de la mezcla para concreto lanzado es función del tamaño y granulometría de sus agregados, calidad del cemento y los aditivos; relación agua-cemento; grado de compactación, y de la adecuada hidratación (cuando se trata de la mezcla seca).

Para que un agregado produzca un concreto lanzado de compactación óptima, máxima resistencia, impermeabilidad y rebote mínimo debe cumplir con las normas ASTM. El martilleo que producen las partículas del agregado grueso sobre la capa de concreto previamente aplicada contribuye a obtener la compactación deseada. Las arenas deben constituir menos del 60% de la mezcla de agregados. Los requisitos de resistencia a la compresión dependen principalmente del contenido de cemento. Sin embargo, un contenido de cemento excesivo puede dar lugar a contracciones y agrietamientos, lo que es muy perjudicial.

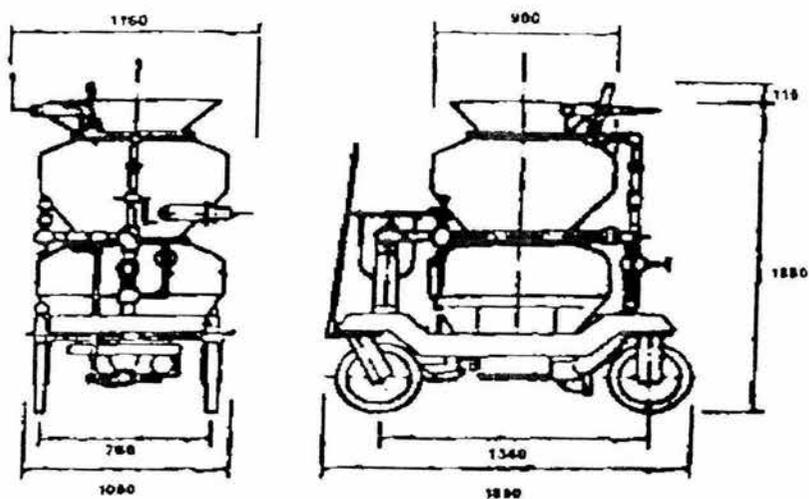
El contenido de cemento después de la aplicación es, generalmente, mayor que la dosificación de la mezcla producida debido a que el material de rebote está constituido de agregado en una mayor proporción. El agua debe estar libre de impurezas y debe cumplir con los requisitos de elaboración de concreto común. Los aditivos acelerantes del fraguado hacen posible la aplicación del concreto lanzado en superficies húmedas y aún sobre filtraciones, en ocasiones, pueden taponarse.

Sin embargo, su empleo debe controlarse ya que reduce la resistencia final del concreto. Cuando se emplean aditivos del 2 al 6% del peso, la reducción de la resistencia no debe ser mayor del 20%. Los valores de la resistencia a la compresión simple a los 28 días deben estar comprendidos entre 150 y 300 Kg/cm<sup>2</sup> que para fines estructurales son suficientes.

Son dos los tipos de maquinas lanzadoras para la mezcla seca.

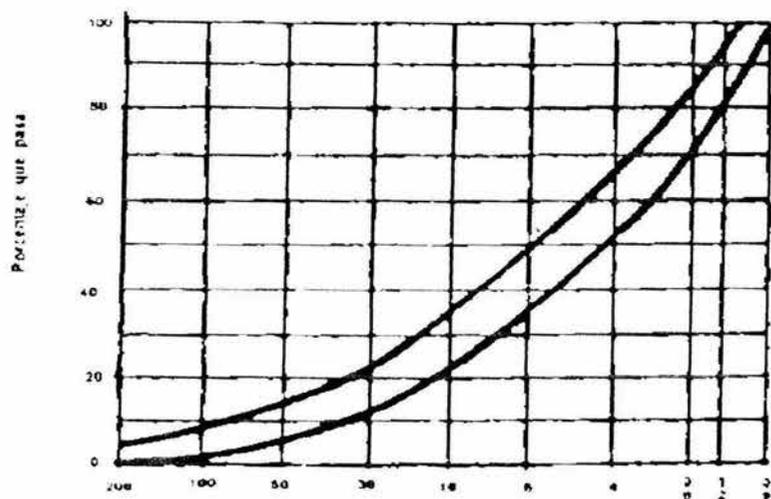
“1. La de doble cámara de presión con válvulas de campana intermedia de acción neumática. La mezcla seca se introduce a la cámara superior, se cierra esta y se levanta la presión que abre la válvula de campana intermedia y deja pasar la mezcla de la cámara inferior; en este se levanta a su vez la presión que cierra la válvula intermedia y la mezcla va alimentándose bajo presión en la tubería de descarga mediante una rueda de cavidades. Mientras se efectúa la operación de descarga se está alimentando mezcla seca ala cámara superior para empezar un nuevo ciclo.

Un buen operador puede lograr, con la ayuda de las dos cámaras una descarga prácticamente continua. Requiere entonces una continua atención del operador, el cual debe desenvolverse con destreza. Son cualidades de este tipo de maquina, su robustez y el poco número de piezas delicadas o movibles que se desgastan o requieren frecuentemente mantenimiento”.



Acolaciones, en mm.

### LANZADORA DE DOBLE CAMARA DE PRESION



LIMITES GRANULOMETRICOS

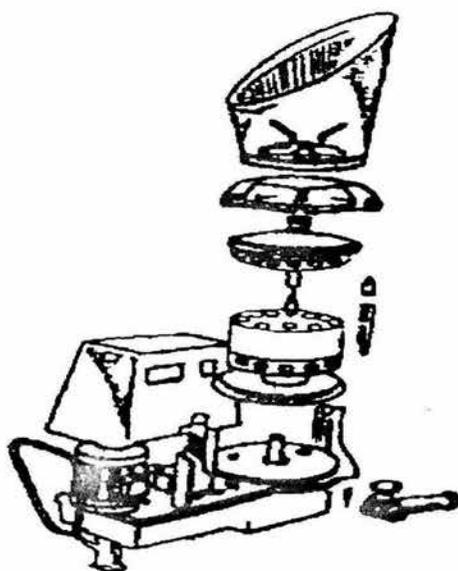
Malla

FIGURA No. 33

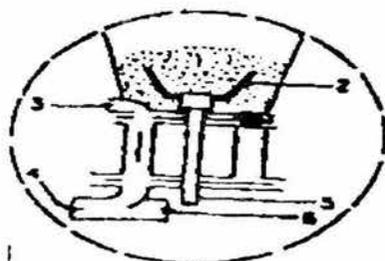
F1

MAQUINA LANZADORA DE DOBLE CÁMARA DE PRESIÓN.

“2. El tipo revolver. La mezcla seca se alimenta continuamente a la tolva que corona la parte superior de la maquina, de ahí cae el cilindro rotatorio tipo revolver que consta de 9 o más compartimientos cilindricos, donde se deposita la mezcla. Cada carga de mezcla en cada compartimiento cae a través de una escotadura y al pasar sobre el cuello de salida una corriente de aire a presión le impulsa hacia las mangueras. Este tipo de manejar agregado grueso más fácilmente que las del otro tipo tiene, por otra parte, más piezas de desgaste y suelen producir más polvo”.



LANZADORA TIPO REVOLVER



- 1 Materiales secos
- 2 Agitador
- 3 Entrada de aire
- 4 Salida a boquilla
- 5 Eje de rotor
- 6 Aire suplementario

MÁQUINA LANZADORA TIPO REVÓLVER.

Las primeras tienen motor neumático, las segundas pueden venir con motor neumático y con motor eléctrico, por lo general el rendimiento es mayor con el motor neumático, aunque el consumo de aire es considerable. Las del primer tipo consumen 600 pies<sup>3</sup>/min. en tanto que en algunos tipos de las segundas de muy altas revoluciones consume cerca de 900 pies<sup>3</sup>/min.

Los rendimientos varían entre 6 a 9 m<sup>3</sup>/h. La distancia de envío varía mucho en cada marca y tipo, pero puede llegar a 275 m horizontales y 92 m verticales. Para grandes distancias conviene usar, en los tramos intermedios tuberías de acero en lugar de mangueras para reducir la fricción.

También pueden conectarse en serie dos máquinas para ganar distancia.

c) Mediciones de control: Uno de los métodos de control de concreto lanzado, es tomar muestras durante la aplicación y efectuar con ellas pruebas de compresión simple a diferentes tiempos, por ejemplo, 8 horas y 28 días.

El muestreo puede realizarse por medio de moldes de madera fijos sobre las paredes para recoger el concreto que se acumula ahí durante la aplicación y después labrar las muestras necesarias. Otro método de control del comportamiento del concreto lanzado es el de la instrumentación que básicamente consiste en la instalación de extensómetros para detectar los movimientos del terreno y de celdas extensométricas (Strain Gages) y cuerdas vibrantes para la medición de movimientos y deformaciones en el revestimiento de concreto lanzado. Como método de control la instrumentación descrita a detectar con anticipación movimientos y deformaciones que si progresaran, pondrían en peligro la estabilidad de la obra. Cuando se detecta en una zona instrumentada una tendencia en los movimientos y deformaciones, aunque valores muy pequeños, deben efectuarse las lecturas con mayor frecuencia para determinar el empleo de soportes adicionales y verificar posteriormente el efecto de estas medidas correctivas.

En vista de que las mediciones son muy pequeñas (en ocasiones son del orden de la precisión de los instrumentos) deben instalarse y medirse instrumentos embebidos en paneles testigos para poder rescatar el efecto de las contracciones químicas y térmicas del concreto lanzado.

d) Materiales: Los materiales que formen el concreto lanzado serán una mezcla de cemento Pórtland, arena, grava no mayor de  $\frac{3}{4}$ ", y un aditivo acelerante especial para elaborar concreto lanzado.

- Cemento: Se utilizará cemento tipo I el cual deberá cumplir con las normas de aceptación de las Normas Mexicanas DGN-C-1 y DGN-C-2. Los requisitos de la resistencia a la compresión dependen principalmente del contenido de cemento. Sin embargo, un contenido de cemento excesivo puede dar lugar a contracciones y agrietamiento perjudicial. El contenido de cemento después de la aplicación es, generalmente, mayor que la dosificación de la mezcla producida debido a que el material de rebote está constituido de agregado en una mayor proporción.
- Agregados: La arena y grava que se utilicen para formar el concreto lanzado, deberán obtenerse de bancos naturales o por trituración de rocas. Las partículas deberán ser duras y sanas. Todos los agregados deben cumplir con las especificaciones de calidad de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica correspondientes a agregados para concreto. Los agregados no deberán reaccionar a los álcalis del cemento. Si los agregados provocaran una expansión excesiva en el concreto debido a la reacción con el cemento deberán desecharse a menos que se apliquen medidas correctivas, como utilizar cemento de bajo álcalis, previa aprobación de la residencia de la obra.

Las arenas deben constituir menos de 60 % de la mezcla de agregados.

- Agua de mezclado: El agua de mezclado debe ser limpia y libre de sustancias agresivas o dañinas, como aceite, limo, arcilla, ácidos o materia orgánica; y debe de cumplir con los requisitos de elaboración del concreto común.
  
- Aditivo acelerante: Para acelerar el fraguado en el cemento se utilizará un aditivo que una vez mezclado con el cemento y el agua, cumpla con los valores siguientes especificados por la Norma ASTM - C - 191:
 

- Tiempo de fraguado inicial (máximo)	3 minutos
- Tiempo de fraguado final (mínimo)	12 minutos
- Resistencia a la compresión simple de la pasta en cubos de 5 cm, a la edad de 8 horas.	60 kg/cm <sup>2</sup> (mínimo)

El aditivo normalmente se utiliza en polvo en una proporción media de 3% con respecto al cemento. Deberán efectuarse pruebas de compatibilidad tanto con el cemento como con los agregados pétreos. En la dosificación del concreto lanzado, se debe tomar en cuenta que el uso de estos productos acelerantes afecta la resistencia final del concreto, de tal forma que la diferencia de resistencia de concretos con el mismo proporcionamiento en donde no se use aditivo, será mayor hasta en un 20% a 28 días. Los aditivos acelerantes de fraguado hacen posible la aplicación del concreto lanzado en superficies húmedas y aún sobre filtraciones que, en ocasiones puede taponearse. Sin embargo, su empleo debe controlarse ya que reducen la resistencia final del concreto. Cuando se emplean aditivos del 2 al 6% del peso la reducción de la resistencia no debe ser mayor de 20 %. Los valores de la resistencia a la compresión simple a los 28 días deben estar comprendidos entre 150 y 300 kg/cm<sup>2</sup>, que para fines estructurales son suficientes.

#### 1.1.- RESISTENCIA ESPECIFICADA DEL CONCRETO LANZADO.

El concreto lanzado, ya colocado, deberá alcanzar la resistencia a compresión especificada en el proyecto, que es de 200 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad.

Cuando se obtengan resistencias a edades diferentes a los 28 días, se utilizarán los siguientes valores como indicativos de la variación esperada de la resistencia con el tiempo:

edad	resistencia a compresión simple
A 24 horas	90 kg/cm <sup>2</sup>
A 3 días	120 kg/cm <sup>2</sup>
A 7 días	150 kg/cm <sup>2</sup>
A 28 días	200 kg/cm <sup>2</sup>

Las resistencias del concreto lanzado se obtendrán del ensaye de corazones de 3" de diámetro como mínimo, cuyos resultados serán corregidos por el factor de esbeltez para una relación de 2:1 (altura - diámetro) de acuerdo con la norma ASTM-C-42.

El concreto lanzado se considerará adecuado en resistencia, si el promedio de 3 corazones ensayados a una edad de 28 días es por lo menos a 85% de la resistencia especificada, y ningún corazón tiene una resistencia menor de 75% de dicha resistencia.

Además en un control estadístico, se aceptará el concreto lanzado que cumpla con los siguientes requisitos:

- No más del 20% del número de pruebas de resistencia tendrán valores inferiores a las resistencias especificadas y el promedio de 10 pruebas consecutivas debe ser igual o mayor que las resistencias especificadas.
- No más del 1% de las pruebas de resistencia a la edad de 28 días, podrá ser menor que la resistencia especificada menos 50 kg/cm<sup>2</sup>.

## 1.2.- PRESIONES TEMPORALES SOBRE MUROS DE CONCRETO LANZADO.

- En la determinación de las presiones para el diseño e instalación de anclas se consideró una excavación con profundidad máxima de 16 m con taludes retenidos por muros a base de concreto lanzado y anclas, una sobrecarga superficial perimetral de 2.0 ton/m<sup>2</sup> en las colindancias con vía pública, y con la construcción colindante de un nivel, y se siguieron las recomendaciones establecidas en el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, tomando en cuenta los siguientes efectos:
- La presión de la masa de suelo en condición activa para la instalación y diseño de anclas, obtenida como el producto acumulado del peso volumétrico total de los materiales, por los espesores en que estos pueden considerarse del mismo valor, afectados por el coeficiente de presión de tierras activo.
- La acción de una sobrecarga uniformemente repartida actuando en la superficie del terreno, en un área rectangular contigua al muro, obteniéndose los esfuerzos inducidos bajo el punto ubicado en la parte media lateral del área, afectados por el coeficiente de presión de tierras activo.
- Para tomar en cuenta las sollicitaciones sísmicas, se determinó una componente horizontal expresada como el producto del peso de la masa deslizante por un coeficiente sísmico de 0.16.

Una vez calculados los valores de estos tres efectos se superponen, obteniéndose la envolvente de presiones horizontales, la cual es transformada a la distribución equivalente propuesta por Peck en la que el volumen de esfuerzos es igual a una envolvente trapezoidal con base mayor igual a la profundidad de la excavación y la base menor a 75% de dicha profundidad, y altura dada por la siguiente expresión:

$$h = 2 A / (B + b)$$

donde:

- h : presión horizontal máxima
- A : volumen de esfuerzo considerando la superposición de las presiones debidas al suelo, a la sobrecarga y al sismo.
- B : profundidad máxima de excavación
- b : 0.75 B

Daños en superficie: las deformaciones provocadas por una obra subterránea se debe a:

- a) Movimientos elásticos inmediatos.
- b) Movimientos viscosos o dependientes del tiempo y
- c) Agrietamiento y desplazamiento de bloques del terreno circundante, por lo general, los problemas de hundimientos y daños en la superficie del terreno se deben principalmente a la última de las causas mencionadas.

Para un conjunto de características del terreno y profundidad determinada los asentamientos y la extensión del material suelto dependerán del cuidado al construir, de la resistencia, estabilidad y pronta instalación de soportes.

## 2.- ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE ANCLAJE.

El criterio para determinar la longitud de las anclas considero que éstas deben prolongarse detrás de la zona de posible deslizamiento, determinada por el ángulo  $\beta$  formado con respecto a la horizontal, y que es igual a:

$$\beta = 45^\circ + \phi / 2$$

### 2.1.- PERFORACIÓN Y SELLADO DE BARRENOS.

Se realizara la perforación de barrenos con la longitud e inclinación especificada para cada uno de los niveles de anclaje. El diámetro de la perforación será de 2 1/2".

Realizado lo anterior se insertara el ancla correspondiente en el barreno verificando con aire o con un alambre acerado, insertado en un tubo testigo que este no se haya tapado. Las características del ancla de fricción se describen en el inciso posterior.

Con el objeto de evitar fugas durante la inyección de la mezcla será necesario sellar la boca del barreno de acuerdo al procedimiento siguiente:

El sellado del barreno será a base de una mezcla de fraguado instantáneo, constituido por cemento Pórtland, un aditivo que provoque el fraguado instantáneo (“INTEGRAL AZ”) y agua.

El “INTEGRAL AZ” se mezcla con el cemento en proporciones iguales por volumen, hasta lograr una masa de consistencia semejante a la del mastique. Una vez lograda dicha consistencia se le adicionara a la mezcla unas gotas de agua y se continuara con el amasamiento hasta que este empiece a calentarse sin perder su consistencia, lo que indicará que se ha iniciado el proceso del fraguado.

La mezcla deberá colocarse entonces en la boca interior del barreno para formar un tapón en una longitud mínima de 10 cm y con la varilla en el centro del barreno; el tapón formado se presionará con la mano unos 2 ó 3 cm auxiliándose de una jerga húmeda. Este tiempo será suficiente para que endurezca y se mantenga firmemente en su lugar.

Es importante que tanto la mezcla como su colocación se efectúen 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. Es recomendable mezclar la cantidad que se utilizará en un lapso de 2 minutos ya que después de este tiempo la mezcla endurece y será desperdiciada.

## 2.2.- CARACTERÍSTICAS DE LAS ANCLAS DE FRICCIÓN.

Las anclas de fricción consistirá de una varilla corrugada de  $1 \frac{1}{2}'' \phi$  y con un  $f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$ . estas anclas en uno de sus extremos tendrán sujetas 2 manguera de  $\frac{1}{2}'' \phi$  de ambos lados, una de 50 cm de longitud por la cual se efectuara 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; las anclas deberán tener 3 centradores distribuidos en su longitud para lograr una adecuada posición del ancla en el barreno de manera que se logre un espesor de lechada uniforme en el perímetro.

### 2.3.- RECOMENDACIONES PARA LA INYECCIÓN DEL BARRENO.

La mezcla a inyectar consistirá en una lechada formada con agua y cemento de resistencia rápida. Se deberá añadir a la mezcla un aditivo que sea fluidizante, retardante de fraguado inicial y estabilizador de volumen.

Para lograr la resistencia adecuada y fácil bombeo de lechada, se deberá usar una proporción agua-cemento de 20 litros de agua por saco de cemento. Como aditivo podrá emplearse el "GROUT-FLUIDIFIER", de tecnocreto u otro de propiedades similares, que proporcione por lo menos iguales resultados; en caso de emplearse el "GROUT-FLUIDIFIER" la proporción de la mezcla no será menor de 250 gramos por saco de cemento.

La inyección de lechada no deberá suspenderse hasta verificar que por el tubo testigo sale lechada de cemento con la consistencia de la que se inyecta, con el fin de certificar que se ha desalojado toda el agua que pudiera existir dentro del barreno y se encuentre completamente lleno de lechada.

Veinticuatro horas después de realizada la inyección, las anclas se sujetarán al muro por medio de una tuerca apoyada sobre una placa de  $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times \frac{1}{2}''$ .

#### 2.4.- PRUEBAS EN LA LECHADA DE INYECCIÓN.

Con el objeto de poder garantizar la adecuada colocación de las anclas, será necesario verificar la resistencia de la lechada empleada, para ello se deberán tomar cuando menos una muestra de cada 5 anclas inyectadas. Cada muestra consistirá en 3 probetas, las cuales se probarán a edades de 1, 3 y 7 días; cada muestra deberá acompañarse de datos de fecha y localización en que se emplea la lechada.

Para considerar adecuada la lechada empleada, la resistencia a la compresión a los 7 días de edad no deberá ser menor de  $100 \text{ Kg/cm}^2$ ; la relación agua-cemento podrá variarse para poder satisfacer este requisito.

#### 2.5.- PRUEBAS DE ANCLAS.

Para verificar la correcta colocación de las anclas, a los tres días después de haber efectuado la inyección, deberán realizarse pruebas en estas sin extraerlas; es decir, la prueba consistirá en la aplicación de una tensión por incrementos y cuyo valor máximo será igual al de  $f_y$ .

#### 2.6.- NOTAS IMPORTANTES.

- a).- La colocación de las anclas se efectuara cuando la excavación y construcción del muro se encuentre 1.0 m abajo del nivel de anclas correspondiente.
- b).- Las pruebas en las lechadas, así como en las anclas se realizara de acuerdo a lo indicado en esta especificación.
- c).- Deberá respetarse la presión de inyección indicada en esta especificación.

## **CAPÍTULO VII INSTRUMENTACIÓN.**

- 1.- REFERENCIAS SUPERFICIALES.
  - 1.1.- TESTIGOS SUPERFICIALES.
- 2.- CRITERIOS DE INSTALACIÓN.
- 3.- PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN.

Previamente al inicio de los trabajos de excavación, se instrumentará el suelo que rodeará a la excavación para verificar que la construcción se realice dentro de la seguridad proyectada así como para advertir el desarrollo de condiciones de inestabilidad, y obtener información básica del comportamiento del suelo, que comparado con el previsto en el diseño, permita concluir sobre la confiabilidad del mismo.

Mediante la instrumentación se observará el comportamiento de la masa de suelo en la que efectuará la excavación, a través de la determinación de:

La evolución con el tiempo de las deformaciones verticales y horizontales, en los puntos más representativos en la masa del suelo. Se instalarán referencias superficiales constituidas por bancos de nivel superficiales. La información recopilada de la instrumentación debe ser constantemente examinada e interpretada por un ingeniero especialista en mecánica de suelos para asegurarse que se obtiene con ella la utilidad que se le consideró.

Los instrumentos de medición se deben instalar siguiendo las recomendaciones que se describen a continuación en los que también se indica la frecuencia de las mediciones.

#### 1.- REFERENCIAS SUPERFICIALES.

Tendrán por objeto medir los desplazamientos horizontales y verticales que ocurren en la superficie del terreno que circundará la excavación. Estas mediciones permiten detectar oportunamente el desarrollo de condiciones de inestabilidad, ó bien deformaciones inadmisibles.

Las referencias superficiales son puntos fijos de la superficie del terreno que se instalarán definiendo líneas de colimación paralelas al borde de la excavación, observando las líneas de colimación con un tránsito, se detectan los desplazamientos horizontales, mientras que con nivel óptico se determinan los desplazamientos verticales.

Las características de las referencias superficiales antes mencionadas se describen a continuación:

### 1.1.- TESTIGO SUPERFICIAL.

Es un cilindro de concreto simple de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, con un perno convencional empotrado en su extremo superior: el perno es de cabeza esférica de 5/8 por 4" y tiene una línea grabada en la dirección perpendicular a la ranura para desarmador. La ranura sirve de guía a la regla de medición que esta graduada en mm y cuenta con un nivel de burbuja y mira para enfocar el tránsito.

### 2.- CRITERIOS DE INSTALACIÓN.

Los testigos superficiales se instalarán principalmente definiendo líneas de colimación, apoyadas en dos puntos de referencia fijos, alejados de los extremos de la excavación para evitar que sufran desplazamientos durante los procesos de construcción. Las líneas de colimación serán paralelas al borde de excavación, señalando una a cada lado de la excavación, en la colindancia con la vía pública; la separación entre testigos superficiales será de 6 metros.

Todas las referencias deberán instalarse antes de la excavación, según los procedimientos que se describen a continuación:

#### a) Testigos superficiales.

- Se trazan las líneas de colimación paralelas a la excavación y a las distancias recomendadas.
- Se perforarán los sitios que alojarán los testigos.

- Se colocarán los testigos en las perforaciones, confinándolos con mortero, inmediatamente se comprueba con un tránsito la alineación de la línea grabada.
- Se marcarán los testigos con su clave de identificación y se protegen hasta que haya fraguado el mortero.

### 3.- PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN.

El tránsito que se utilice deberá tener plomada óptima de centrado y precisión de 15 seg. ; las mediciones se harán dos veces en cada posición del aparato. Es indispensable que se compruebe frecuentemente el ajuste del eje vertical del aparato. El nivel topográfico deberá ser de precisión, con radio de curvatura de 20 m y amplificación de 25 diámetros.

Las nivelaciones serán diferenciales, con el aparato nivelado equidistante a los puntos de medición y lecturas máximas a 100 m, utilizando estadales con un nivel de burbuja y graduados en milímetros; las mediciones se efectuarán cuando la reverberación sea mínima.

Los desplazamientos horizontales se registrarán con la ayuda del tránsito y la regla metálica, colocándola en cada una de las ranuras de las cabezas de los tornillos, deslizándola horizontalmente hasta que la línea coincida con la línea de colimación. En la escala posterior de la regla, el cadenero medirá el desplazamiento horizontal entre la marca del perno y la mira; la medición se realizará con aproximadamente de  $\pm 0.5$  mm.

**CAPÍTULO VIII**  
**CONCLUSIONES.**

A manera de conclusión del presente trabajo se puede decir que existen dos tipos de anclas, utilizadas dependiendo las especificaciones que se requiera cumplir, las cuales tienen las siguientes descripciones:

#### ANCLAS DE FRICCIÓN

- 1) Expansor para fijar y centrar el ancla.
- 2) Barra corrugada con cuerda Standard en un extremo.
- 3) Tubo de inyección.
- 4) Tubo de respiración y testigo del llenado.

#### ANCLAS DE TENSIÓN

- 1) Expansor mecánico de expansión paralela.
- 2) Barra lisa o corrugada con cuerda Standard en ambos extremos.
- 3) Placa semiesférica de apoyo, rondana esférica y tuerca de alta resistencia

Los sistemas de anclaje colocados en los techos de los túneles ayudan a la roca a desarrollar con mayor efectividad el llamado “efecto de arco” garantizando por tanto la estabilidad de la excavación.

Dependiendo de la consistencia de la roca pueden usarse los dos tipos de anclas antes mencionadas, es decir, se recomienda el uso de anclas de tensión para rocas duras o muy duras y, para rocas de menor dureza, muy fracturadas, se recomienda el uso de las anclas de fricción.

En zonas constituidas por roca que se encuentran estratificadas con inclinación desfavorable a la excavación de un corte o talud, pueden utilizarse las anclas de tensión para mejorar las condiciones de estabilidad y obtener pendientes que resulten económicas.

El trabajo de estas anclas consiste en comprimir entre sí los estratos obteniendo como resultado una mayor fricción entre ellos y permitiendo por lo tanto la selección de pendientes mayores. En algunos casos, estos sistemas se usan para soportar estratos débiles (estructuralmente hablando), anclándolos en formaciones más resistentes o menos alteradas.

En los últimos años se han empleado con gran éxito los sistemas de anclaje como elementos adicionales de soporte en las excavaciones en roca de minas, túneles, galerías, lumbreras y casas de máquinas, así se han desarrollado nuevos tipos de anclas cuyo funcionamiento sencillo y eficaz, proporciona a las excavaciones seguridad, rapidez y economía.

Para el uso de sistemas de anclaje en tierras es importante considerar las características estratigráficas del subsuelo en la zona de influencia para poder determinar el tipo de falla que puede sufrir el mismo, considerando el empuje activo y/o pasivo de la masa de suelo y un coeficiente de empuje de tierras, dependiendo las características antes mencionadas y el tipo de materiales encontrados.

#### VENTAJAS QUE REPRESENTA EL USO DE ANCLAS

Aquí se enumeran algunas de las ventajas que representa la construcción con el uso de sistemas de anclaje:

- 1) Sirven para incrementar la capacidad de soporte natural de las excavaciones subterráneas en roca.
- 2) Se emplean como elementos auxiliares para estabilizar taludes, cortes en roca, etc.

- 3) Pueden emplearse en combinaciones con estructuras convencionales de ademe como son los marcos de acero y madera, el concreto lanzado, mallas de alambre, soleras, etc., para garantizar el soporte de la excavación.
- 4) Aceleran el avance de la excavación dada la rapidez y facilidad de instalación.
- 5) Proporciona una economía que en algunos casos representa hasta un 50% en costo y tiempo, comparado con otros sistemas de soporte.
- 6) Mediante una sencilla instrumentación puede controlarse el funcionamiento del sistema, lo que redundará en una mayor seguridad de la excavación.
- 7) No obstruyen las maniobras de excavación, ya que al ocupar el mínimo de espacio la sección excavada queda prácticamente libre una vez colocadas las anclas.
- 8) Permiten sujetar instalaciones básicas para el desarrollo de la excavación (tuberías para agua, cables de luz, conductos de aire a presión, etc.).

**BIBLIOGRAFÍA**

- Juárez E., Rico A. Mecánica de suelos. Tomo II y III. México. 1977.
- Peck, Hanson y Thorburn. Ingeniería de cimentaciones. Limusa Wiley. 1987.
- Terzaghi K. theoretical Soil Mechanics. John Wiley. 1943.
- Apuntes de la materia Mecánica de Rocas.