

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**" Procesos Constructivos para la Estabilización de
Suelos utilizando Pantallas Ancladas"**

INFORME DE SUFICIENCIA

**Para Optar El Título Profesional de
INGENIERO CIVIL**

OMAR ALEXIS DE LA CRUZ RUIZ

Lima - Perú

2006

*Dedicado a Maria Padilla, Celestino
De La Cruz y Ruth Ruiz, ejemplos de vida e
Influencia, a mis padres por el eterno apoyo
Incondicional, a Diana por su Presencia y
Sensibilidad*

INDICE

	Páginas
INTRODUCCION	
RESUMEN	
CAPITULO I ESTABILIZACION DE SUELOS	05
1.1 RECOPIACION DE INFORMACION DE CAMPO PARA EL DISEÑO DE OBRA DE ESTABILIDAD	05
1.1.1 GENERALIDADES	05
1.1.2 EXPLORACIONES DE CAMPO	05
1.1.3 CRITERIOS PARA EL TIPO DE SOSTENIMIENTO	16
1.2 PANTALLAS ANCLADAS	17
1.2.1 DEFINICION	17
1.2.2 APLICACIONES EN LA CONSTRUCCION	18
1.2.3 VENTAJAS DE SU EVOLUCIONEN LA CONSTRUCCION	20
1.2.4 TIPOS DE MUROS ANCLADOS SEGÚN SISTEMA DE ANCLAJES	23
1.2.5 CRITERIOS Y ASPECTOS PARA SELECCIÓN DE TIPO DE ESTRUCTURA	24
1.2.6 CARGAS DE ANALISIS	27
1.3 CONSTRUCCION DE ANCLAJES	29
1.3.1 GENERALIDADES	29
1.3.2 CARACTERISTICAS DEL CABLE	34
1.3.3 PARTES DEL ANCLAJE.	38
1.3.4 PROTECCION CONTRA LA CORROSION	45
1.3.5 TRABAJOS PARA LA INSTALACION DE ANCLAJES	49
1.3.6 TRABAJOS PRELIMINARES	49
1.3.7 PERFORACION DE SONDEOS	51
1.3.8 INYECCIONES DE CONSOLIDACION	63
1.3.9 REPERFORACION	66
1.3.10 ENSAYO DE PERMEABILIDAD PARA ACEPTAR PERFORACION	67
1.3.11 SUMINISTRO Y MONTAJE DE ANCLAJES	69
1.3.12 INSTALACION DE ANCLAJES	74
1.3.13 INYECCION DE ANCLAJES	75
1.3.14 CONTROL DE CALIDAD	80
1.3.15 TENSADO	81
1.3.16 CRITERIO DE ACEPTACION DE UN ANCLAJE	94

	Páginas
CAPITULO 11. INFORMACION TECNICA PANTALLA ANCLADA	97
2.1 GENERALIDADES	97
2.2 CONSIDERACIONES A EVALUAR DEPENDIENDO DEL TIPO DE OBRA	97
2.3 MEMORIA DESCRIPTIVA	103
2.3.1 DESCRIPCION TECNICA	103
2.3.2 PARAMETROS GEOLOGICOS-GEOTECNICOS	104
2.4 PROGRAMACION DE OBRA	104
2.5 PRESUPUESTO	105
CAPITULO 111. APLICACIÓN CONSTRUCCION PANTALLA ANCLADA	106
3.1 GENERALIDADES	106
3.2 ETAPAS CONSTRUCTIVAS PRINCIPALES DE P.A.	106
3.2.1 PREPARACION DEL TERRENO	106
3.2.2 PERFORACION Y COLOCACION DE ANCLAJES	107
3.2.3 HABILITACION DEL MURO DE CONCRETO ARMADO	108
3.2.4 DESENCOFRADO Y TENSADO	110
3.2.5 SECUENCIA CONSTRUCTIVA	113
CONCLUSIONES	114
RECOMENDACIONES	115
BIBLIOGRAFIA	117
ANEXOS	118
ANEXO 1 INFORMACION TECNICA DE LA OBRA EN REFERENCIA	
ANEXO 2 ANALISIS DE COSTOS DE LAS OBRAS CORRECTIVAS DE ESTABILIZACION	
ANEXO 3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EN SECUENCIA CONSTRUCTIVA	

INTRODUCCION

En el Perú, el sostenimiento de roca con anclajes es un método que progresó con el auge de las construcciones mineras y civiles de grandes proyectos de inversión privados y nacionales, desarrollando y alcanzando un nivel de importancia preponderante para garantizar la estabilidad y seguridad de cimentaciones, estabilidad de taludes naturales y artificiales, túneles, presas, etc.; pero ante el escenario de los deslizamientos o desprendimientos de grandes masas de suelos se presenta dentro de la estabilización de suelos como alternativa de sostenimiento al muro de concreto armado fijado con anclajes (pantalla anclada) para contener las masas de suelos inestables.

Teniendo en cuenta que los suelos son de características malas y la presencia de aguas residuales en un gran sector de la selva provocan deslizamientos, es que se propone obras correctivas a partir de estudios preventivos de las zonas cercanas a la torre de transmisión aplicada en el presente informe, previamente habiéndose detectado anomalías que amenacen la estabilidad de esta estructura.

A la búsqueda de una buena alternativa de contención se encuentra a los muros anclados como una técnica adecuada de sostenimiento de taludes inestables, trabajo desarrollado en el presente documento que incluye Memoria Descriptiva de la alternativa, Presupuestos, Cronogramas, Especificaciones Técnicas y Planos de Diseño.

RESUMEN

El presente informe de Ingeniería recopila información técnica referida a obras de sostenimiento de suelos y rocas, haciéndose específica referencia a las Pantallas Ancladas (muros de concreto armado con anclajes) como una apropiada alternativa de estabilización de suelos de grandes masas, el trabajo presentado como aplicación al tema fue ejecutada para la estabilización de suelos donde se apoyan torres de transmisión de alta tensión eléctrica en la selva central del departamento de Huanuco, provincia de Leoncio Prado, en el distrito de Hermilio Valdizan. El informe describe el proceso constructivo y todas las tareas a ejecutar en una obra de sostenimiento en terrenos inestables, proponiéndose obras correctivas a partir de estudios preventivos de las zonas cercanas a la torre de transmisión, tema de aplicación del presente informe. Estas masas, potencialmente inestables, se sostienen a través de la pantalla anclada, los cuales generan un incremento de las tensiones normales de la superficie potencial de deslizamiento cubierta por la pantalla, y por ende un aumento en la resistencia al esfuerzo cortante del terreno mediante la transmisión de fuerzas externas a la zona de anclaje fijada al macizo rocoso encontrado.

Vista la importancia de estos aspectos y su trascendencia en las obras civiles y mineras, se reviste la importancia de desarrollar este informe sobre el proceso constructivo de una Pantalla Anclada, sistema de sostenimiento en el cual el anclaje conjuntamente con el muro de concreto armado juegan un papel de vital importancia como elemento estructural que colabora como soporte y por ende como medio estabilizador del terreno que lo circunda.

CAPITULO I ESTABILIZACION DE SUELOS.

1.1 RECOPIACION DE INFORMACION DE CAMPO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIDAD.

1.1.1 Generalidades

Los proyectos de sostenimiento consisten en la estabilización de los estratos tanto en suelos como rocas, que presentan inestabilidad debido a deslizamientos de bloques por procesos geodinámicos, el trabajo consiste en mitigar el movimiento y evitar que esto afecte la estabilidad de cualquier estructura importante.

Para el proceso de preconstrucción (diseño) se ha de utilizar toda la información disponible referente a la zona, como son inspecciones visuales en el sitio, levantamientos topográficos, fotografías aéreas, mapeos geológicos de la superficie, revisión de muestras de roca rec, ,peradas por perforaciones diamantinas. Como resultado de todos estos estudios realizados, se debe desarrollar un criterio inicial de diseño. cálculos ingenieriles, planos y especificaciones.

1.1.2 Exploraciones de Campo

El primer paso en las investigaciones generales relacionadas con la estabilidad de taludes lo constituyen los estudios de superficie del terreno. Esta tarea se lleva a cabo con estudios de gabinete y de campo, siendo lo más aconsejable empezar siempre con información general respecto al relieve esta información nos brindarán las fotografías aéreas, mapas geológicos, planos topográficos.

Las visitas o inspecciones de campo son preliminares, de esta manera podemos hacer el reconocimiento e identificación de áreas inestables o potencialmente inestables, estas pueden ser reconocidas con la ayuda de las fotografías aéreas y planos, así se dará una apreciación general de la magnitud del área y proceder a delimitar las zonas más importantes donde se pudieran extraer la mayor información.

La metodología de la investigación previa, a este estudio consta de las siguientes fases:

La primera fase consiste en la evaluación de los datos geológicos y la información disponible que pueda ser obtenida a partir de mapas y fotografías,

La segunda fase será la identificación de las zonas inestables, potencialmente inestables o con alto riesgo de rotura y su consiguiente zonificación.

La tercera fase sería la identificación de las causas que originan u originaron el movimiento para así establecer el tipo de movimiento.

Si se lleva a cabo una buena planificación de estos trabajos, con una investigación exhaustiva, esta fase preliminar supone un gran ahorro en los costos de trabajos de campo futuros, y lo más importante tomar medidas de prevención y/o corrección en puntos necesarios, evitando pérdidas económicas.

A) Técnicas de Investigación Preliminares

Estas técnicas de investigación se basan en la utilización de mapas, fotografías aéreas e imágenes satelitales, presentándonos porciones de la superficie terrestre y mostrando detalles sobre las características geológicas y magnitud del terreno.

Mapas o Planos; Aquí se encuentran clasificados los mapas o planos topográficos, los mapas geológicos y geotécnicos, cuyo estudio constituye uno de los primeros pasos a seguir en la investigación de deslizamientos. La ventaja de utilizar mapas y planos, es que son de fácil manejo y el contar con una escala de trabajo uniforme para realizar estudios.

Planos Topográficos; son imprescindibles en cualquier tipo de estudio geológico, porque presentan la configuración (tamaño y forma) de la superficie de la tierra, permitiendo la medida de distancias horizontales y elevaciones verticales a partir de las curvas de nivel. Las escalas más usuales de trabajar son las que se encuentran a 1:25000, 1:50000 y 1:200000; las curvas de nivel se presentan a cada 10m, 20 m y 100 m, respectivamente, la interpretación de las curvas de nivel nos dará una idea clara de las zonas donde podrían ocurrir deslizamientos o donde existen pendientes escarpadas; pero por si solos los planos topográficos no aportan una información completa, estos deberán ser complementados con los mapas geológicos y geotécnicos además de otra cantidad de información que veremos mas adelante.

Mapas Geológicos; aportan información referente a descripción de suelos y rocas, depósitos superficiales, alteración y meteorización, contactos y límites geológicos, zonas de fractura y cizalla, juntas y todo tipo de discontinuidades estructurales, así como la historia geológica de la zona. A partir de estos datos se pueden establecer regiones fisiográficas o formaciones geológicas proclives al movimiento. Los mapas geomorfológicos son los que más nos pueden ayudar cuando queremos detectar deslizamientos o zonas susceptibles, ya que recogen la morfología del terreno (pendientes y modelados característicos) además de otros tipos de características geológicas como son la litología y génesis de los materiales.

Mapas Geotécnicos; aportan información sobre las propiedades geotécnicas de las formaciones geológicas, es decir, datos acerca de parámetros geomecánicos y de las propiedades resistentes de los materiales, aparte de los datos geológicos necesarios para caracterizar las diferentes unidades establecidas. En estos mapas se establece la relación entre la litología y forma del terreno con sus características ingenieriles o geotécnicas, tales como texturas, condiciones hidrogeológicas, pendientes y ángulos de taludes.

Fotografía Aérea; Su uso es de gran utilidad porque permiten la interpretación de rasgos y estructuras geológicas gracias al detalle que muestran de la superficie terrestre, la interpretación de las fotografías aéreas requiere cierta experiencia, aunque se pueden obtener resultados muy útiles conociendo una serie de características básicas sobre como aparecen algunos rasgos geológicos en las fotografías, como son el agua, vegetación, rocas. El uso de las fotografías aéreas ha demostrado ser una de las mejores técnicas para el reconocimiento de deslizamientos.

Reconocimientos Previos de Campo

Después del reconocimiento en gabinete, los reconocimientos de campo tienen por finalidad la identificación del tipo y causas del movimiento.

Cuando nos encontramos en el terreno, tendremos que tener mucho cuidado en la apreciación y clasificación de los signos de inestabilidad, es de mucha importancia poder reconocer cuales son las evidencias de un posible movimiento, como son los planos inclinados lisos rocosos, bloques caídos, macizos fracturados, presencia de

grietas de tracción, hundimientos con grietas de tracción, señales de desprendimiento, deslizamiento ó flujo, laderas escalonadas y agrietadas y con escarpes; pero lo que mayormente indica movimiento son las grietas, y esto nos lleva a localizar el deslizamiento, las grietas delinean los límites de rotura y son en la mayoría de los casos primeras señales de movimiento que aparecen en el campo.

Estas investigaciones se llevarán a cabo tras los estudios de mapas y fotografías aéreas, testimonios recogidos, u otro tipo de investigación previa, que facilitarán la localización e identificación de las zonas movidas o inestables. Tras la localización del fenómeno se debe valorar in situ las siguientes características; como son las condiciones geométricas y geomorfológicas, ángulos, pendientes, alturas, longitudes y volúmenes aproximados; características geológicas y geotécnicas.

B) Métodos de Investigación de Detalle

La investigación de detalle permite una discretización del terreno en zonas homogéneas, determinando los valores de los parámetros característicos que rigen su comportamiento. Esta investigación es un complemento indispensable de la investigación preliminar. La investigación detallada tendrá menor amplitud, pero se realizará con mayor profundidad, tendiendo a la comprensión de los fenómenos que influyen en la estabilidad de los taludes.

Las técnicas de investigación tienen como objetivo proporcionar la información necesaria para prever el comportamiento de los materiales que forman el terreno. Aquí queremos dar los métodos usados en la investigación de este tipo de problemas de inestabilidad.

Peñoraciones Diamantinas de Investigación

El objetivo principal de la perforación rotativa diamantina es recuperar piezas intactas de rocas o suelos, estudiar las debilidades en el macizo (por lo tanto la recuperación de los núcleos tiene que ser tan completa como sea posible).

La recuperación de núcleos por medio de la perforación rotativa diamantina es uno de los métodos más importantes de la exploración del subsuelo, este método permite el reconocimiento del terreno a lo largo de su profundidad, la recuperación

de núcleos de roca nos proporcionará, además de la litología y el grado de meteorización, el índice de calidad RQD (% trozos de testigo > 10 cm), número de fracturas por metro, buzamiento de las discontinuidades y muchas mas características del macizo rocoso.

Los testigos de roca permiten una descripción mas detallada de las litologías atravesadas y aunque la perforación es lenta y costosa esta permite analizar las muestras a pie de maquina, seleccionando alguna de ellas para su posterior estudio en gabinete con mas detenimiento y mediante el empleo de técnicas más específicas. En ocasiones este primer examen es el único que se realiza, por lo tanto es preciso una descripción lo más completa, clara y exacta posible.



Fotografía N° 1.- Núcleos de Roca recuperados - (Fuente propia).

Para este primer estudio se recomienda tener bandejas metálicas o de madera con compartimentos que alberguen al testigo, de tal manera que a simple vista se pueda apreciar el aspecto general de todo el sondeo.

Posteriormente se describirá con todo detalle todas las muestras tramo por tramo, eliminando en ella el detritus desprendido u otros agentes contaminantes fáciles de detectar, hay que poner atención especial a los metros próximos a los límite entre tramos para fijar estos con mayor exactitud.

Se hará una descripción de las muestras en lo que se refiere a su litología, textura, estructura, minerales accesorios, dureza, resistencia, alteración fracturamiento, color, presencia de óxidos, recuperación y ROO. Todos los datos obtenidos son representados en un formato que describe todas las características de la columna de roca o suelo recuperada, lo que se conoce como LOGEO.

Los registros o gráficos realizados deben presentarse en columnas paralelas y correlacionadas.

En los sondeos a rotación se debe de indicar también los tramos donde se han producido pérdida de fluido de perforación (agua), lo cual indicará que es una zona con cavernas o mucha facturación.

Se debe de incluir también los datos de ubicación del sondeo, es decir, coordenadas y elevación, fechas de ejecución, tipo de maquina, así como las observaciones y medidas suplementarias que a partir de él se han conseguido. En definitiva se debe de tratar de conseguir un único documento en el que quede reunida la totalidad de la información suministrada por el sondeo.

Índice de Calidad De La Roca (RQD)

El parámetro, Rock Quality Oesignation (ROO) es usado para la clasificación del macizo rocoso, está basado en la recuperación de los núcleos de roca con perforación diamantina.

ROO se define como el porcentaje de núcleos que se recuperan en piezas enteras de 100 mm. o más del largo total del barreno.

Por lo tanto:

$$RQD (\%) = 100 \times \frac{\text{Longitudie nucleomayorexie } 100\text{mm}}{\text{largo del barreno}}$$

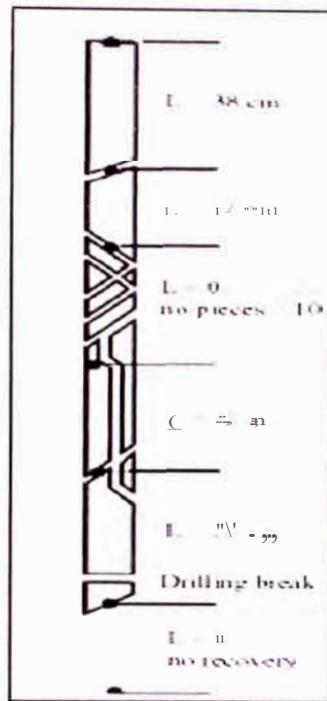


Figura N° 1.- RQD (Rock Engineering - Course Notes by Evert Hoek).

En el cuadro N° 4 se muestra una clasificación de rocas utilizando el RQD.

RQD	CALIDAD DE LA ROCA
25%	Muy Mala
25%-50%	Mala
50%- 75%	Regular
75% - 90%	Buena
90%-100%	Muy Buena

Cuadro N° 1.- (Evert Hoek, "Support of Underground excavations in hard rock")

Mapeos Geológicos

Los mapeos geológicos consisten en la descripción de las características de las discontinuidades, siendo estas los planos de estratificación, las juntas de tensión o cizalladura y la esquistosidad; los mapeos incluyen la identificación y delimitación de las unidades litológicas y de las áreas con potencial de inestabilidad de talud o áreas donde han ocurrido deslizamientos. La información geológica se recolecta para analizar y entender las discontinuidades geológicas del macizo rocoso que controla la estabilidad de la roca.

El mapeo geológico utiliza la información previa de campo, así como la información de los testigos de roca extraídos en los sondajes, instrumentación geotécnica previa (si existiera), interpretación aerofotográfica y la revisión de planos geológicos de la zona, a continuación mencionaremos los parámetros que se consideran dentro de un mapeo geológico:

1. **Orientación e inclinación;** es la ubicación de la discontinuidad en el espacio, definida por la dirección del buzamiento y el buzamiento de la línea de máxima pendiente en el plano de la discontinuidad, estas dos características son medidas a través de brújulas.

El buzamiento (buz)

Viene a ser la recta de máxima pendiente de un plano inclinado; es como si soltáramos una pelotita sobre este plano y el ángulo formado por la línea de trayectoria recorrida por esta y un plano horizontal definiría el buzamiento.

La dirección de buzamiento (Dbuz)

Es la orientación de la proyección horizontal de la línea de buzamiento medida en el sentido de las agujas del reloj respecto al norte magnético.



Fotografía N° 2.- Posición de la brújula sobre la superficie de roca para establecer la dirección de buzamiento (Evert Hoek).

2. **Espaciamiento;** distancia perpendicular entre dos discontinuidades adyacentes. Normalmente se refiere al espaciamiento medio de una familia de discontinuidades.

3. **Continuidad;** extensión superficial de una discontinuidad en un plano imaginario que la contenga.

4. **Rugosidad;** conjunto de irregularidades de diferentes órdenes de magnitud (asperezas, ondulaciones}, que componen la superficie de las paredes de una discontinuidad.
5. **Resistencia de la discontinuidad;** resistencia a la compresión de la superficie de discontinuidad. Puede ser mas baja que la resistencia de la roca matriz a causa de la meteorización de la misma.
6. **Abertura;** Distancia perpendicular entre las paredes de una discontinuidad.
7. **Relleno;** material que separa las paredes e una discontinuidad, normalmente más débiles que la roca matriz.
8. **Filtración;** flujo de agua y humedad libre visible en discontinuidades o en la totalidad de la roca.
9. El número de familias que comprende el sistema de discontinuidades del medio rocoso.
10. **Tamaño del bloque;** dimensiones del bloque de roca resultante de la mutua orientación y espaciado de las familias de discontinuidades.

El carácter y comportamiento de los macizos rocosos comprende una combinación de parámetros geológicos y geotécnicos los cuales se relacionan, la meta principal de todos estos datos geológicos colectados es describir la masa de roca o suelo con tanta precisión como sea posible. Esto ayudará en la determinación de una clasificación de la masa .

Los aspectos que se tienen en cuenta para estimar el comportamiento geomecánico del macizo son los siguientes:

- Nombre de la roca o suelo, con una descripción geológica somera .
- Características estructurales y mecánicas del medio rocoso, como son espesor de los estratos y características de las discontinuidades.
- Estado del macizo estudiado, en este sentido se estudia el grado de meteorización, presencia de agua, descripción del entorno, etc.

Estos 3 aspectos pueden ser evaluados teniendo en cuenta las características descritas anteriormente para el mapeo geológico.

Ensayos de laboratorio

Estos ensayos tienen como finalidad determinar algunos de los parámetros que influyen en la estabilidad de los taludes, determinando las propiedades geomecánicas de la roca matriz mediante el ensayo de muestras de roca, obtenidas de testigos de sondeos o de bloques.

A continuación se mencionará los ensayos a los que son sometidos las muestras inalteradas de roca:

- Ensayos para la identificación y estado de la muestra; proporciona la naturaleza de la roca y su estado natural aparente.
- Alterabilidad; reproduce de alguna manera la alteración que sufren las rocas debido a la meteorización.
- Resistencia y deformación; se pretende determinar el límite máximo de esfuerzos que puede soportar la roca con determinadas condiciones; los tipos de ensayos frecuentemente realizados son:
 - 1) Ensayo de resistencia a compresión simple.
 - 2) Ensayo de compresión triaxial.
 - 3) Ensayo de corte directo.

Exploraciones Geofísicas

Estudian la distribución de las propiedades físico-química de las capas del terreno, o de alguna característica relacionada con dichas propiedades.

Tienen gran importancia para establecer los contactos entre materiales de recubrimiento y substrato de la roca, entre rellenos artificiales y terreno natural y para delimitar la posición de niveles freáticos.

Dependiendo del parámetro físico que se mide, los métodos geofísicos pueden ser gravimétricos, magnéticos, sísmicos, eléctricos y radiactivos.

Los métodos de geofísica más usuales realizados sobre superficies del terreno son los sísmicos y los eléctricos, sin considerar aquellos métodos de testificación geofísica que se utilizan solo en ocasiones especiales.

Los métodos geofísicos que implican el uso de resistividad eléctrica pueden usarse para establecer estimaciones de las propiedades de la roca tales como la porosidad y densidad, sin embargo, proporcionan poca información sobre características estructurales del macizo y a veces los resultados son difíciles de interpretar para los geólogos.

A continuación se mencionarán dos métodos el sísmico y el eléctrico, los dos más utilizados para determinar las zonas de contacto, con estos resultados y con los resultados obtenidos por los sondeos de recuperación de testigos se podrá establecer la posible superficie de falla.

Geofísica de superficie - Método sísmico:

Se basa en el análisis de la propagación de las ondas elásticas a través del terreno. Estas se pueden clasificar de la siguiente forma:

Ondas elásticas internas:

- Longitudinales (P)
- Transversales (S)

Ondas elásticas superficiales:

- Rayleigh (R)
- Love
- Hidrodinámicas (H)
- Acopladas (C).

Las velocidades de propagación de las ondas elásticas se miden por los tiempos que tardan en llegar dichas ondas desde el punto donde quedan, hasta los diversos puntos donde se recogen, cuyas distancias son conocidas.

La generación de las ondas puede realizarse con explosivos o por el golpe de un martillo sobre una placa metálica situada sobre el terreno: la recepción de las ondas producidas se realiza con **sensores o Geófonos** que traducen la vibración mecánica debida al paso de las ondas por el terreno, en una frecuencia proporcional a la velocidad del movimiento de terreno. Esta frecuencia es muy pequeña y se amplifica antes de salir a un galvanómetro. Sus indicaciones se registran sobre una película fotográfica obteniendo el sismograma del movimiento producido por el paso de las ondas en el punto donde está situado el geófono. La representación se realiza sobre unos ejes de coordenadas, poniendo en abcisas las distancias entre el punto de impacto y los geófonos y en ordenadas los tiempos que la onda elástica tarda en recorrer dichas distancias. La gráfica obtenida recibe el nombre de **Dromocrónica**. Una vez interpretada esta, se pasa a un perfil la topografía del terreno y la distribución de las diferentes velocidades obtenidas.

En este perfil luego se llevará la clasificación según los sondeos de recuperación de núcleos y se podrá comparar la información geofísica con estos, teniendo que confirmar esta a los tramos de fracturamiento y donde la calidad de la roca es pobre (según RQD).

Como comentario se menciona que los métodos sísmicos no dan resultados satisfactorios en todos los medios geológicos, pero cuando las condiciones geológicas se presentan para este tipo de ensayo, los métodos sísmicos pueden proporcionar datos útiles sobre la estructura y la configuración de los estratos y sobre la localización de las discontinuidades más importantes, como son las fallas.

Geofísica de superficie - Método eléctrico:

Se basa en el estudio de los campos del potencial eléctrico provocados artificialmente, de cuya deformación pueden deducirse varias conclusiones sobre las características geológicas del subsuelo. Se utiliza corriente continua como alterna, preferentemente de frecuencias muy bajas. Esto se debe a que la profundidad de penetración disminuye rápidamente, a medida que aumenta la frecuencia. La principal ventaja de este método es su reducido costo.

El método se basa en las diferentes propiedades eléctricas de las rocas: resistividad, conductividad, etc. Dentro de la variedad de los métodos de geofísica eléctrica, los de uso más corriente son los basados en la resistividad etc.

1.1.2 Criterios para establecer el Tipo de Sostenimiento

Cuando se produce un fenómeno de inestabilidad, lo que debemos de averiguar primero cuales son las causas de la inestabilidad y eliminarlas o neutralizarlas, claro se supone que haremos esto siempre y cuando tratemos de proteger algo que sea indispensable (estructuras, carreteras, centros poblados, etc.); las causas que originan esta inestabilidad son una **combinación de factores**, y por lo que los **procedimientos de mitigación** deben ser también **combinados**.

En la actualidad tenemos varios métodos de sostenimiento que dan grandes resultados en cuanto a seguridad de las obras como son los anclajes, muros de contención, inyecciones de consolidación, drenajes, pilotes, etc.; Pero no todos ellos se pueden utilizar, se tendrá que evaluar cual es la solución técnica y económica factible para el problema.

Entonces, antes de comenzar a diseñar el sostenimiento lo primero que haremos será evaluar todos los datos que hemos obtenido de nuestro macizo rocoso, tenemos que entender que a pesar de tener a la mano varias posibilidades para resolver el problema, siempre habrá una que satisfaga todos los requerimientos, y aquí tendremos que considerar no solo el resultado final de mitigación, si no toda la **etapa** previa que significa la parte **constructiva**, esta etapa condiciona el método de sostenimiento a utilizar.

Cada caso se puede atacar teniendo en cuenta las características del talud del terreno, aplicando elementos resistentes como son los **anclajes, muros de sostenimiento, pilotes, etc.;** En cualquier caso el problema se debe considerar en su totalidad. En el caso de taludes de rocas o suelos, la tecnología ha desarrollado en la actualidad elementos resistentes que han desplazado por completo a elementos como son los muros y los pilotes, para dar paso al muro de sostenimiento con anclajes o **pantallas ancladas**, sobre todo cuando se trata de **grandes bloques deslizantes.**

1.2 PANTALLAS ANCLADAS

1.2.1 Definición

Generalmente se identifica con el nombre de pantalla anclada a un muro de concreto armado de espesor entre 7,5 cm. y 30 cm. que se utiliza bien para proteger o bien para estabilizar taludes críticos y que se fija al terreno con anclajes.

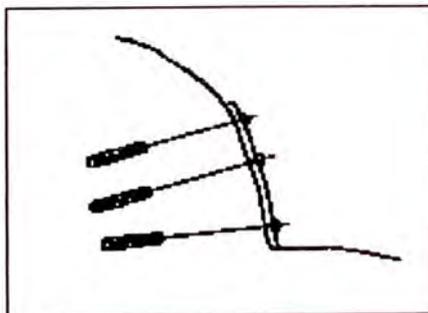


Figura Nº 2 .- Pantalla Anclada (fuente: Jaime Suarez D.)

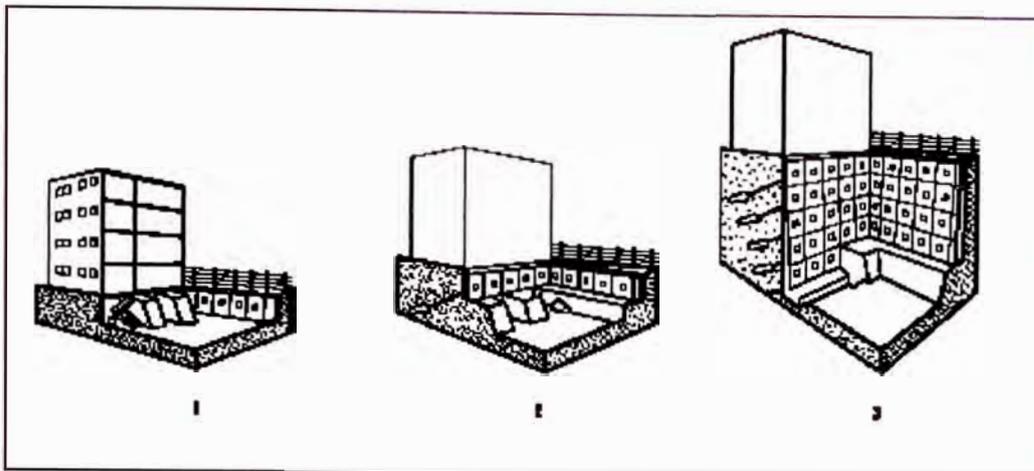


Figura N°3 .- Procedimientos de Construcción de Pantallas Ancladas en Sótanos de Edificio (fuente: Jaime Suarez D. , "Estabilización de Taludes")

Las pantallas ancladas son estructuras de contención que sirven de alternativa para la estabilización de suelos, resisten los esfuerzos producidos en el caso de un deslizamiento de tierra el muro, ejerce una fuerza para contener la masa inestable y transmite esa fuerza hacia los anclajes que forman parte del proceso constructivo de la pantalla. Las deformaciones excesivas o movimientos de esta estructura de contención o del suelo a su alrededor deben evitarse para garantizar su estabilidad.

1.2.2 Aplicaciones en la Construcción

Las pantallas ancladas se están imponiendo en diversos sectores de la Ingeniería, mientras que en un principio se empleaban las pantallas exclusivamente para la impermeabilización del terreno por tramos, hoy es imprescindible en excavaciones de cimentaciones profundas, suelos de poca consistencia o estabilidad, nivel freático alto, etc., donde prima sobre todo la seguridad con la que se ejecutara la excavación del terreno.

Podemos dividir a las pantallas en dos grupos según su aplicación:

Como pantallas de estabilización en:

- taludes nuevos construidos en corte.
- el mejoramiento de la estabilidad en taludes ya existentes.
- taludes derrumbados para hacer su reparación.

Como pantallas de protección en:

- taludes sensibles de sufrir derrumbes superficiales de materiales debido a las aguas de lluvias y de escorrentías sobre su superficie.

La pantalla anclada se construye al ejecutar de forma alterna tramos de muro, de sección rectangular, mediante excavación manual o con cucharas mecánicas de equipo pesado y bajo el uso normalmente de morteros de agua-cemento para estabilizar desprendimientos de terreno, este mortero estabiliza la excavación durante el proceso constructivo, una vez concluida esta, se coloca la armadura antes del encofrado y finalmente se procede a vaciar concreto.



Fotografía Nº 3 .- Procedimientos de Construcción de Pantallas Ancladas en Sótanos de Edificio (fuente: Anclajes Titan)



Fotografía Nº 4 .- Procedimientos de Construcción de Pantallas Ancladas en Sótanos de Edificio (fuente: Anclajes Titan)



Fotografía N° 5 .- Procedimientos de Construcción de Pantallas Ancladas en Sótanos de Edificio (Fuente: Anclajes Titan)



Fotografía N° 6 - Anclajes en Muros de Carretera en Lleida - España
(Fuente: Anclajes Titan)

1.2.3 Ventajas de su Evolución en la Construcción

Los muros pantalla se emplean frecuentemente como elementos resistentes en taludes, introduciendo un elemento de contención en el pie, esta forma de actuar ya da inconvenientes constructivos y de seguridad, esta construcción requiere una excavación en el pie del talud, lo cual favorece la inestabilidad hasta que el muro este completamente instalado, además, el muro no garantiza posible deslizamientos por encima o por debajo del mismo, la excavación en roca ya eleva los costos de construcción, asimismo, el muro solo puede sostener una longitud determinada de deslizamiento, generalmente ahora los muros se utilizan en

terraplenes y desmontes casi verticales, como en el caso de construcción de vías de transportes.

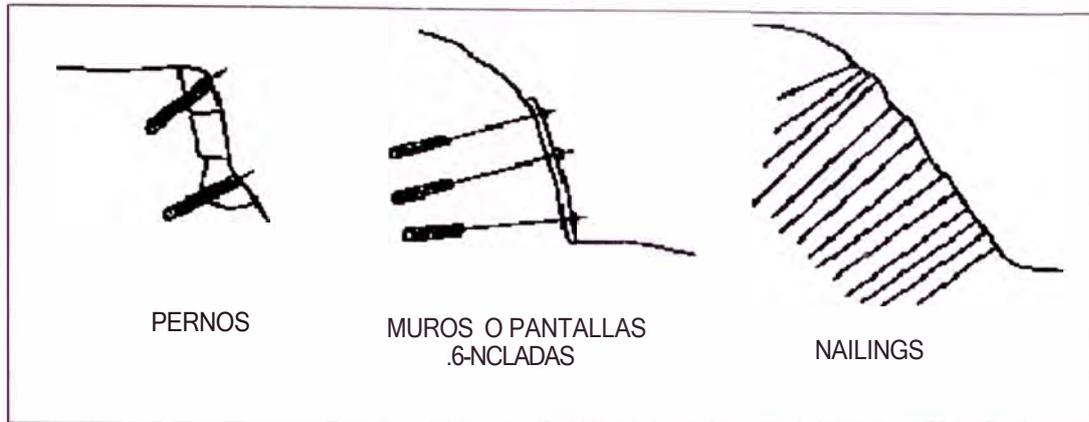


Figura N° 4.- Métodos de Sostenimiento para estabilizar suelos
(fuente: Jaime Suarez D.; "Estabilización de Suelos")

Los pilotes, que para el sostenimiento de taludes se llaman pantallas de pilotes, que consisten en la alineación de estos elementos, siendo el espacio entre los dos suficientemente pequeño como para conseguir un sostenimiento relativamente continuo, presentan ventajas respecto a los muros de contención porque requieren poca excavación, sin embargo, cuando se trata de **contener grandes masas en movimiento**, los enormes esfuerzos que se generan en los pilotes pueden hacer poco recomendable su empleo.

Aunque el desarrollo que han alcanzado en la actualidad los métodos constructivos y los materiales empleados en los pilotes han ampliado en gran medida su campo de aplicación, en todo caso deben emplearse pilotes de gran capacidad portante y puede ser conveniente disponer además otras medidas estabilizadoras adicionales (drenajes, anclajes, etc.).

Cuando se trata de deslizamientos con superficie de falla profundas se utilizan los pilotes perforados o de extracción, pero esto hace elevar los costos, así que también es un sistema que ayudaría pero adicionalmente como se menciono con la ayuda de anclajes.

Cuadro N° 2.- Estructuras Ancladas

Estructura	Ventajas	Desventajas
Anclajes y Pernos individuales	Permiten la estabilización de bloques individuales o puntos específicos dentro de un macizo de roca	Pueden sufrir corrosión.
Pantallas Ancladas	<p>*Se pueden construir en forma progresiva de arriba hacia abajo, a medida que se avanza en el proceso de excavación.</p> <p>*Permiten excavar junto a edificios o estructuras.</p> <p>*Permiten alturas considerables.</p>	<p>*Los elementos de refuerzo pueden sufrir corrosión en ambientes ácidos.</p> <p>*Se puede requerir un mantenimiento permanente (te:isionamiento).</p> <p>*Con frecuencia se roban los pernos y elemento de anclaje, para su construcción se puede requerir el permiso del vecino.</p> <p>* Su construcción es muy costosa.</p>
Mailing o Pilotillos Tipo Raíz	Muy eficientes como elemento de refuerzo de materiales fracturados o sueltos.	Generalmente se requiere una cantidad muy grande de pilotillos para estabilizar un talud específico lo cual los hace costosos.

(Fuente: Propia)

1.2.4 Tipos de Muros Anclados según Sistema de Anclajes

Los **anclajes** (de barra y de cables), son sistemas de sostenimiento que en la actualidad se aplican para sostenimiento de taludes rocosos y en terreno suelto, siendo sistemas económicos y que brindan una real seguridad si se diseñan y construyen siguiendo los requerimientos de normas y recomendaciones; la diferencia entre ambos sistemas la resumiremos en el cuadro:

SISTEMA DE ANCLAJE	CARGA ULTIMA	LONGITUD	INSTALACION	VIDA UTIL
CABLES DE ACERO	Esta dada por la combinación de un N° de cables.	Longitudes profundas de más de 100 m	Fácil instalación, sistema flexible al manipuleo.	Garantizada
BARRAS DE ACERO	Esta limitada a 180 toneladas.	Longitudes profundas (60 m).	Fácil instalación, pero no cuando el frente de trabajo es limitado.	Garantizada

Cuadro N° 3 .- Comparación entre anclajes de cables y barras de acero

Este cuadro resume las diferencias entre ambos sistemas, como vemos los dos sistemas son aplicables, no se recomiendan las barras cuando se trata de anclajes muy profundos y donde el área a instalar es reducida, en general se podría decir que a la hora de diseñar se tendrá que considerar hacer el menor número de anclajes y obtener la carga necesaria para el sostenimiento, siendo así, los cables de acero tienen la ventaja cuando se trata de sostener con una gran fuerza estabilizadora.

En si lo que influye son los costos de perforación e instalación y la carga resistente, ya que los costos de materiales entre barras y cables no son determinantes.

1.2.5 Criterios Y Aspectos para Selección de Tipo de Muro de Contención.

Los siguientes factores deben tenerse en cuenta para seleccionar el tipo de muro de contención:

- a. Localización del muro de contención propuesto, su posición relativa con relación a otras estructuras y la cantidad de espacio disponible.
- b. Altura de la estructura propuesta y topografía resultante.
- c. Condiciones del terreno y agua freática.
- d. Cantidad de movimiento del terreno aceptable durante la construcción y la vida útil de la estructura, y el efecto de este movimiento en muros vecinos, estructuras o servicios.
- e. Disponibilidad de materiales.
- f. Tiempo disponible para la construcción.
- g. Apariencia.
- h. Vida útil y mantenimiento

Una estructura de contención y cada parte de esta, requiere cumplir ciertas condiciones fundamentales de estabilidad, rigidez o flexibilidad, durabilidad, etc., durante la construcción y a lo largo de su vida útil y en muchos casos se requiere plantear alternativas para poder cumplir con las necesidades de un proyecto específico. Estas alternativas pueden requerir de análisis y cálculos adicionales de interacción suelo - estructura. En todos los casos el diseño debe ser examinado de una manera crítica a la luz de la experiencia local.

Cuando una estructura de contención no satisface cualesquiera de sus aspectos de comportamiento se puede considerar que ha alcanzado el "Estado Límite".

Estado Limite

Durante el período de diseño se deben discutir en toda su extensión todo el rango posible de estados límite.

Las siguientes clases principales de estado límite deben analizarse:

a. Estado límite último(falla)

Es el estado en el cual se puede formar un mecanismo de falla, bien sea en el suelo o en la estructura (inclinación o fractura). Para simplicidad en el diseño debe estudiarse el estado inmediatamente anterior a la falla y no el colapso total del muro.

b. Estado límite de servicio (ya cumplió su servicio)

Es el estado en el cual no se cumple un criterio específico de servicio. Los estados límite de servicio deben incluir los movimientos o esfuerzos que hagan ver una estructura deformada o "fea", que sea difícil de mantener o que se disminuya su vida útil esperada. También se debe tener en cuenta su efecto sobre estructuras adyacentes o redes de servicios. Siempre que sea posible, una estructura de contención debe diseñarse en tal forma que se muestren signos visibles de peligro que adviertan de una falla. El diseño debe evitar que pueda ocurrir falla súbita o rotura, sin que hayan ocurrido previamente deformaciones que indiquen que puede ocurrir una falla.

Se recomienda en todos los casos que las estructuras de contención tengan suficiente "**ductilidad**" cuando se acerquen a una falla.

Durabilidad y Mantenimiento

Durabilidad:

- Tiempo en que alcanza su estado límite.
- Costos del mantenimiento (para mantenerlo en condiciones de servicio).

Una **durabilidad inadecuada** puede resultar en un **costo muy alto** de mantenimiento o puede causar que la estructura de contención **alcance** muy **rápidamente** su estado **límite de servicio** o su estado límite último. Por lo tanto, la durabilidad del muro y la vía de diseño junto con los requisitos de mantenimiento deben ser considerados en el diseño, seleccionando adecuadamente las especificaciones de los materiales de construcción, teniendo en cuenta el clima local, y el ambiente del sitio donde se plantea colocar la estructura. Por ejemplo, el concreto, el acero y la madera se deterioran en forma diferente de acuerdo a las circunstancias del medio ambiente reinante.



Fotografía Nº 7. - Estado Límite de un Muro de Contención

Estética

Las estructuras de contención pueden ser un detalle dominante de un paisaje urbano o rural y debe realizarse un diseño adecuado para mejorar lo más posible su apariencia, sin que esto lleve a incrementos significantes en su costo.

Además de satisfacer los requerimientos de funcionalidad, la estructura de contención debe mezclarse adecuadamente con el ambiente a su alrededor para complacer las necesidades estéticas del paisaje.

Los aspectos que son importantes con referencia a su impacto estético son:

- a. Altura e inclinación de su cara exterior.
- b. Curvatura en planta. En ocasiones los muros son diseñados con un criterio de muro "ordinario", cuando con el mismo costo se podría haber construido un muro "elegante".
- c. Gradiente y conformación de la superficie del terreno aledaño. La cobertura vegetal debe ser un compañero constante de la estructura de contención (DRENAJE).
- d. Textura de la superficie de la cara frontal, y la expresión y posición de las juntas verticales y horizontales de construcción.
- e. La corona de la estructura, todo muro debería llevar un detalle arquitectónico en su corona que sea agradable a la vista.

La mejora del aspecto estético puede lograrse a través de una formaleta-estructura adecuada. En ocasiones diversos tipos de vegetación pueden incorporarse a la estructura para mejorar su apariencia, pero debe tenerse en cuenta que estas plantas no causen un daño al muro, a largo plazo. El consejo de un Arquitecto paisajista debe ser buscado para lograr efectos especiales.



Foto Nº 8 .- Aspecto Estético de un Muro de Contención

Consideraciones de construcción

Tener en cuenta durante la construcción:

Transito de vehículos

Climas

Sismicidad

Manejo del nivel freatico

Movimientos de construcciones vecinas

accesibilidad de distribución de materiales de la zona al punto de pie de obra.

Es importante para la seguridad y economía, que los diseñadores de estructuras de contención tengan especial consideración con los métodos de construcción y los materiales a ser utilizados. Esto ayudará a evitar diseños peligrosos y puede resultar en economía significativa.

1.2.6 Cargas De Análisis

Para cada situación de diseño deben obtenerse las cargas concentradas o distribuidas que pueden afectar la estructura de contención tales como peso del suelo, la roca y el agua, presiones de tierra, presiones estáticas de agua, presiones dinámicas del agua, sobrecarga y cargas sísmicas.

Adicionalmente, deben determinarse las cargas relacionadas con factores geológicos tales como la reptación del talud, la disolución de la roca, el colapso de cavernas; y de las actividades del hombre como excavaciones y uso de explosivos en sitios cercanos, así como el efecto de temperatura en áreas industriales y fundaciones de máquinas.

Es necesario algunas veces analizar las diversas combinaciones posibles de cargas y diseñar para la condición más crítica.

Para determinar las cargas debe tenerse una información muy clara de la geometría del talud, la geometría del modelo geológico y los niveles de excavación, así como los parámetros geotécnicos tales como peso unitario, resistencia al corte, permeabilidad, esfuerzos en el sitio, parámetros de deformación de la roca y el suelo.



Fotografía N° 9 .- Consideraciones de carga para Diseño de Muros de Contención

Factores de Seguridad

La calidad de un diseño depende no solamente del factor de seguridad asumido sino también del método de análisis, los modelos de cálculo, el modelo geológico, los parámetros geotécnicos y la forma como se definen los factores de seguridad; por lo tanto, los factores de seguridad por sí solos no representan una garantía para la estabilidad de la estructura de contención.

Debe observarse que los factores de seguridad no cubren los errores y el no cumplimiento de las especificaciones de construcción, equivocaciones en el cálculo de las cargas, la utilización del método de análisis equivocado, las diferencias de la resistencia de los materiales en el laboratorio y en el campo y el nivel de supervisión.

1.3 Construcción De Anclajes

1.3.1 Generalidades

En el presente capítulo se detallará la alternativa de muro de sostenimiento (pantalla) con anclajes de cables de acero, específicamente los anclajes propuestos tendrán como finalidad proporcionar una fuerza estabilizadora al terreno y dar un factor de seguridad adecuado bajo solicitaciones de cargas estáticas y dinámicas, además, se propondrá dos alternativas para mejorar la calidad de vida de estos anclajes, como son:

- a La protección múltiple contra agentes corrosivos; que podrían dañar durante la vida de servicio el refuerzo metálico de este, y
- b El sistema retensable, que nos permite reducir o aumentar esfuerzos de tensión durante la vida de servicio de los cables si el caso b requiere.

Como desarrollo del tema se hará una descripción de los trabajos que conciernen a un proyecto de esta magnitud, como son; procedimientos para perforación en roca o suelo con la finalidad de construir anclajes, inyecciones para consolidación de agujeros perforados, instalación del anclaje, procedimientos y evaluación del tensado de anclajes; todas estas tareas constructivas son aplicables también al sistema de anclajes de **barra de acero**, existiendo algunas **diferencias en el ensamblaje y en el tensado** del anclaje .

El sistema de protección anticorrosivo es una variante de la aplicación de anclajes con cables de acero, lo que busca es el recubrimiento de la estructura metálica y aislarla del terreno que lo circunda, esta protección es proporcionada por una funda de PVC o HOPE continua a lo largo de todo el elemento, esta protección no interfiere en la distribución de cargas aplicadas al terreno. Como se mencionó anteriormente la utilización de cables de acero contempla varias posibilidades para la protección anticorrosiva, las cuales se deberán ajustar a las exigencias que las condiciones ambientales, agresividad del terreno e importancia de la obra le requieren.

El principal objetivo de este sub-capítulo es el de presentar procesos constructivos en anclajes de cable, es por eso que se elige para el desarrollo del mismo tipo de anclaje, el cual estará conformado de 4 cables de acero de 5/8".

Anclajes de Barra

Son elementos de mucha mayor resistencia (Barras de acero pretensadas) en comparación con los pernos de roca (barras de acero de construcción grado 60 y 75), los cuales pueden ser sometidos a cargas más elevadas por taladro perforado reduciendo el número de pernos en el patrón de diseño y reducir el costo de perforación; acero conformado por estas barras se encuentra comprendido dentro de la norma ASTM A722.

La barra es de alta resistencia, se deforma uniformemente en el tramo libre cuando es sometido a esfuerzos de tracción similar a un perno de roca, pero su grado de fluencia y rotura permiten soportar mayores cargas de trabajo y su aplicación se desarrolla para sostener grandes masas rocosas.

Los anclajes de barra en general, son elementos fáciles de instalar cuando su aplicación lo requiera, en cualquier posición, e inclusive en pendientes negativas, que generalmente son difíciles por presentarse problemas de fricción entre el elemento y las paredes de la perforación, pero por ser un elemento rígido y acoplable facilita esta tarea.

Tiene las siguientes aplicaciones:

Incrementar la estabilidad de presas.

Estabilizar excavaciones subterráneas y mineras.

Anclar muros de contención.

Estabilizar fuerzas excéntricas de cimentaciones, taludes y cortes de roca, y otras más.

Anclajes de Cables

El movimiento de las excavaciones superficiales y subterráneas en la Ingeniería Civil y la Minería han producido el desarrollo gradual de la tecnología de refuerzo con los pernos de roca y anclajes, y con la finalidad de asumir retos mayores a los que no pueden llegar estos sistemas ya mencionados nos encontramos con lo que son los Anclajes por Cables de Acero.

El uso más conocido y más temprano del anclaje por cables fue en la minería subterránea, como fue en la mina Willroy en Canadá (Marshall. 1963) y en las minas de Free State Geduld Mines in Sudáfrica 1964. El desarrollo extenso de esta tecnología ocurrió durante los años setenta, con contribuciones mayores en Australia, Canadá, y Sudáfrica.

Los primeros anclajes por cables eran generalmente fabricados siguiendo el patrón de sogas, pero esto se discontinuó, debido al tiempo que se consumía en el desengrase, entonces las circunstancias exigieron hacer estos elementos convenientemente de tal forma que desengrasarlos no sea una tarea muy laboriosa y permita cables que se adhieran sin problemas con los materiales de formación del bulbo. En la actualidad se utilizan cables conformados solo por 7 alambres; la primera vez que se usaron fue en Broken Hill en Australia en 1977, los cables están dispuestos en forma de espiral, guiados por un alambre recto central "Kingwire" para formar el cable de acero, los cuales dan excelentes resultados en obras de Ingeniería y de minería. También se pueden fabricar en un número variable de alambres, los cuales son dispuestos paralelamente entre ellos o entrelazados, de tal manera que se forme un tendón resistente.

Otras combinaciones que se fabrican son las de 12 y 19 alambres todos ellos en forma de espiral, pero como lo mencionamos en el párrafo anterior el empleo más frecuente en la actualidad es aquel que está compuesto por 7 alambres de acero, 1 central "Kingwire" y 6 periféricos, formando una hélice con un paso de aproximadamente 200 mm. El alambre central posee un diámetro de 5% a 6% mayor que los 6 perimetrales.

Esta disposición permite a los alambres perimetrales un libre contacto con el alambre central. Existen, todavía agrupamientos con alambres de varios diámetros, que permiten la minimización de los vacíos entre los alambres de tal manera que aumentan la capacidad de carga del cable.

La capacidad del anclaje de cables es muy amplia, basta juntar una cantidad suficiente de cables para combatir los esfuerzos, es decir, pueden ser empleados fácilmente para cargas elevadas de una o varias centenas de toneladas, además de emplearse en longitudes muy grandes.

Tienen aplicación en:

- Estabilizar taludes con superficies de falla profundas.
- Estabilizar excavaciones subterráneas.
- Incrementar la estabilidad de presas.
- Anclar muros de contención.
- Estabilizar cargas excéntricas en cimentaciones.
- Estabilizar cavernas de centrales de energía.

1.3.2 Características del Cable

Los anclajes están constituidos por cables de acero de acuerdo a la norma ASTM **A-416-94** grado 270.

Las propiedades mecánicas de los cables de acero de 5/8" son:

* Diámetro nominal	15.20 mm.
* Área del acero del cable	140.00 mm ² .
* Tensión de ruptura	26.50 Ton.
* Modulo de elasticidad	197.50 Kg/mm ²

El cable está conformado por 7 alambres de acero los cuales están embutidos en grasa y envainados con una funda de polietileno. Con la grasa se logra reducir las pérdidas de pretensado por fricción y asegurar al mismo tiempo una protección eficaz contra la corrosión, el recubrimiento de polietileno tiene un espesor de 0.040", la grasa sirve como lubricante para permitir el desplazamiento del cable durante el tensado.

Los anclajes por cables permiten formar anclajes de mucho mayor longitud que los anclajes por barra, en ocasiones superan los 100 m., la capacidad de carga también es superior; generalmente entre 20 Ton. y 200 Ton. por anclaje, sobrepasándose, en algunos casos, las 500 ton por anclaje, según la necesidad. Se utilizan como anclajes temporales o permanentes, activos o mixtos, para estabilizar grandes masas deslizantes, con superficies de rotura profundas.

Ventajas del Sistema de Anclajes por Cables

Son las siguientes:

- Las grandes longitudes transportables evitan la incorporación de uniones.
- Los anclajes exigen poco espacio durante, el transporte, el almacenamiento y la instalación.
- La buena flexibilidad de los anclajes los hace insensibles ante daños mecánicos.
- La longitud del anclaje es flexible pudiendo acortarse a medida.
- Se puede suministrar doble protección anticorrosiva.
- Montaje sencillo debido al peso relativamente bajo.

Estos anclajes prácticamente no tienen límites de capacidad de carga pudiéndose variar libremente la cantidad de cables

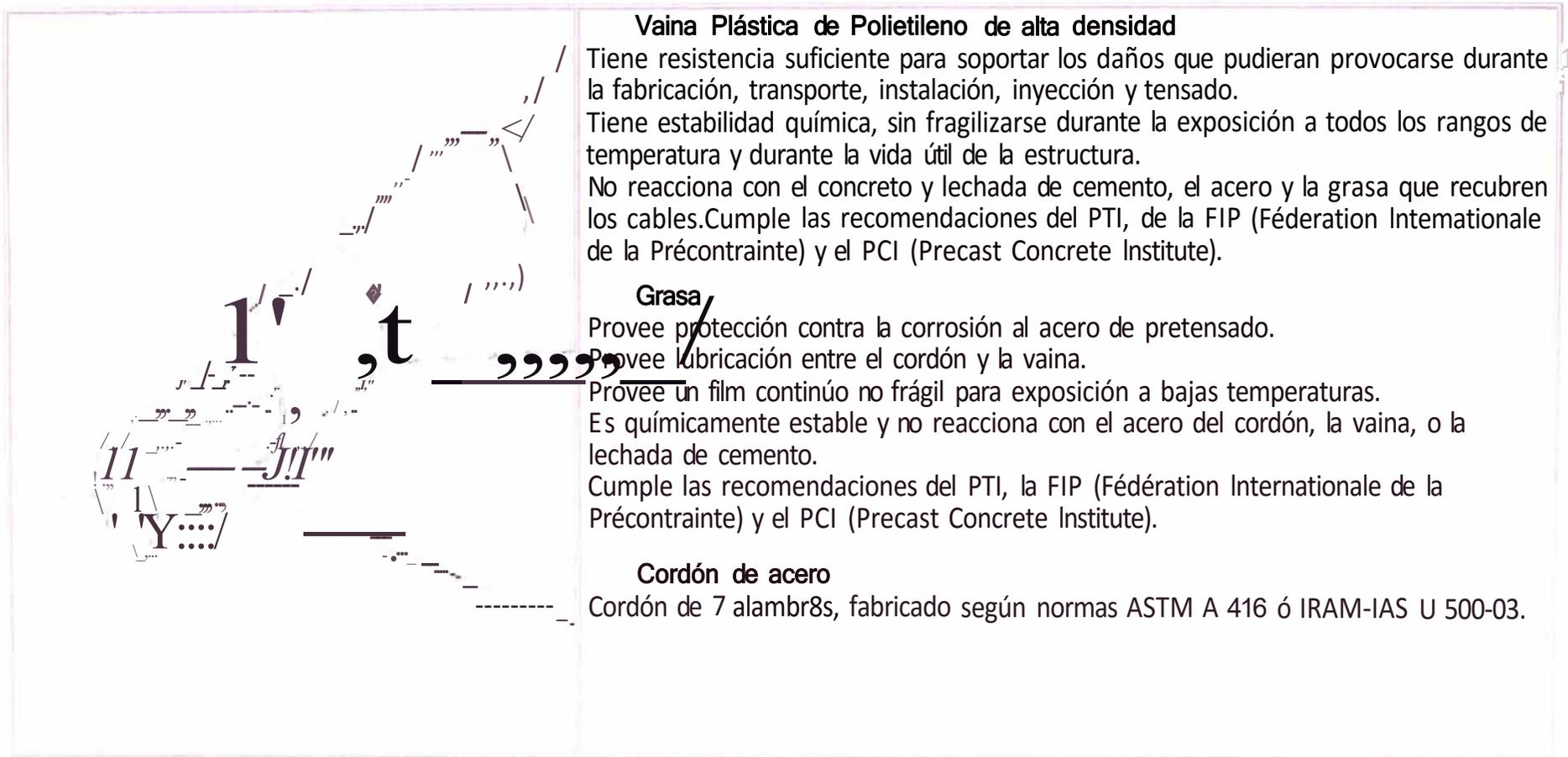


Figura N° 5 (Fuente Acindar - Cordones de Acero).

Figura N° 6 - Características (Fuente Acindar - Cordones de Acero).



Cordones de siete alambres Baja Relajación

Formado por alambres de alto carbono toronado y termo mecánicamente tratado con un proceso de Baja Relajación. El Cordón se compone de seis alambres arrollados helicoidalmente alrededor del séptimo Alambre denominado "alma de Cordón" y de diámetro mayor que constituye el eje longitudinal del mismo. Se utilizan también en estructuras de concreto pre y postensadas.

Propiedades Mecánicas (Normas ASTM A 416)

Cuadro N° 4 (Fuente Acindar - Cordones de Acero).

Designación comercial	Diámetro nominal del cordón mm	Area nominal de la sección transversal del cordón mm ²	Masa nominal por unidad de long. kg,m	Carga al 1% del alargamiento total (mínima)(2l) 01 kN	Carga de rotura (mínima) Qt kN	Alargamiento de rotura bajo carga sobre 200 mm (mín.) At %
Grado 270	9,5	54,8	0,432	92	102	3,5
Grado 270	12,7	98,7	0,775	166	189.77	3,5
Grado 270	15,2	140	1,100	235	261	3,5

2JLa carga al 1 % del alargamiento total se considera equivalente a la carga al 0,2 % de deformación permanente

1.3.3 Partes del Anclaje

Las partes del anclaje son 3, pero en esta etapa describiremos cada parte en función al anclaje de cable del ejemplo, mostrando detalles más precisos.

- a). BULBO O ZONA DE ANCLAJE
- b). TRAMO LIBRE
- c). CABEZA

a) Bulbo o Tramo anclado

La zona del bulbo está constituida por los cables de acero, los cuales están totalmente libres de grasas de fabricación y sin vaina de polietileno, la grasa se elimina a través de lavados con diluyentes especiales de tal forma que permita que el acero esté libre de algún tipo de agente perjudicial que dificulte la perfecta adherencia con la lechada de cemento, que será inyectada durante la instalación del anclaje.

Para cubrir los cables en esta zona se coloca como funda protectora anticorrosiva el tubo corrugado de PVC o HOPE, que cubrirá todo el anclaje (desde el bulbo hasta el tramo libre), todo el conjunto mencionado proporciona una perfecta adherencia entre lechada de cemento y acero, así como la adherencia entre lechada de cemento y roca; la funda corrugada no interfiere para nada en la adherencia, el conjunto se comporta como uno sólo y no disminuye la capacidad friccionante entre el terreno y la lechada de cemento.

Además, de estos 2 elementos, cables y tubo corrugado, en el bulbo se instalan accesorios que sirven como espaciadores y centralizadores los cuales son de material plástico y están espaciados a cada metro, sirven para separar los cables uno de otro y conformar una estructura uniforme (ver figura 7).

También en esta zona se encuentra un tubo de 1" de PVC clase 10 para la inyección, el que va a lo largo de todo el anclaje, este tubo sirve de conducción de la lechada de cemento que se inyectará durante la instalación, del anclaje.

b). Tramo Libre

Está compuesto por los mismos cables de acero, en este tramo cada cable está protegido con grasa y envainado a lo largo del tramo con el forro de polietileno, siendo ésta la única diferencia entre la zona del bulbo y el tramo libre. También al igual que el bulbo, en esta zona se colocarán los espaciadores y centralizadores de plástico que cumplirán con el mismo fin (ver figura 8)

El forro de polietileno aísla el cable de la lechada de cemento que será inyectada en la instalación, permitiendo la elongación del cable durante el tensado, la grasa inhibidora de corrosión protege al cable y lubrica permitiendo así una mayor durabilidad.

La doble protección contra la corrosión está dada por la protección del cable con la funda corrugada de PVC o **HOPE** y con el forro de polietileno de cada cable, siendo ésta una de las opciones más seguras de protección contra la corrosión.

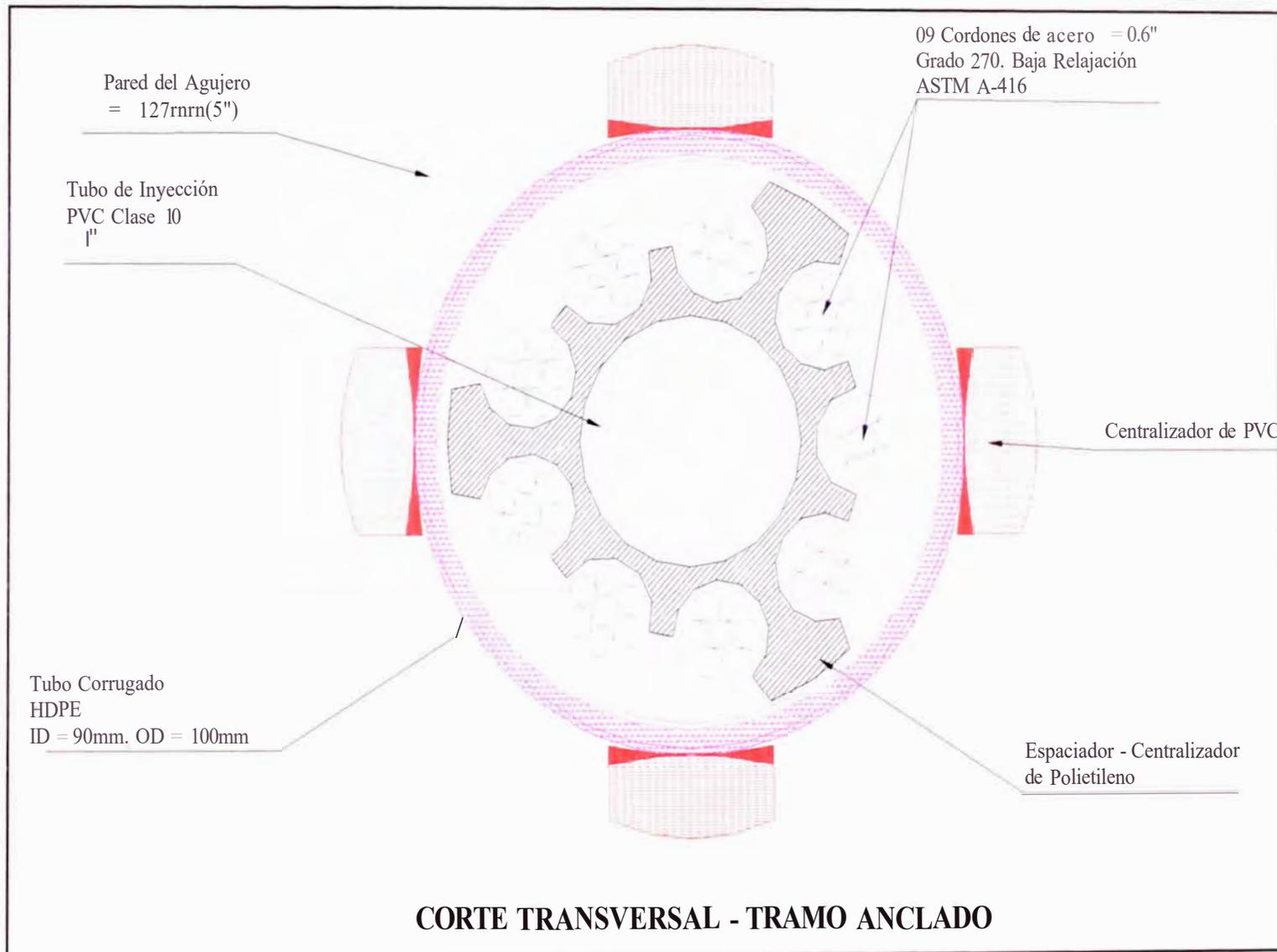


Figura N° 7 .- Corte transversal del bulbo (Fuente Propia)

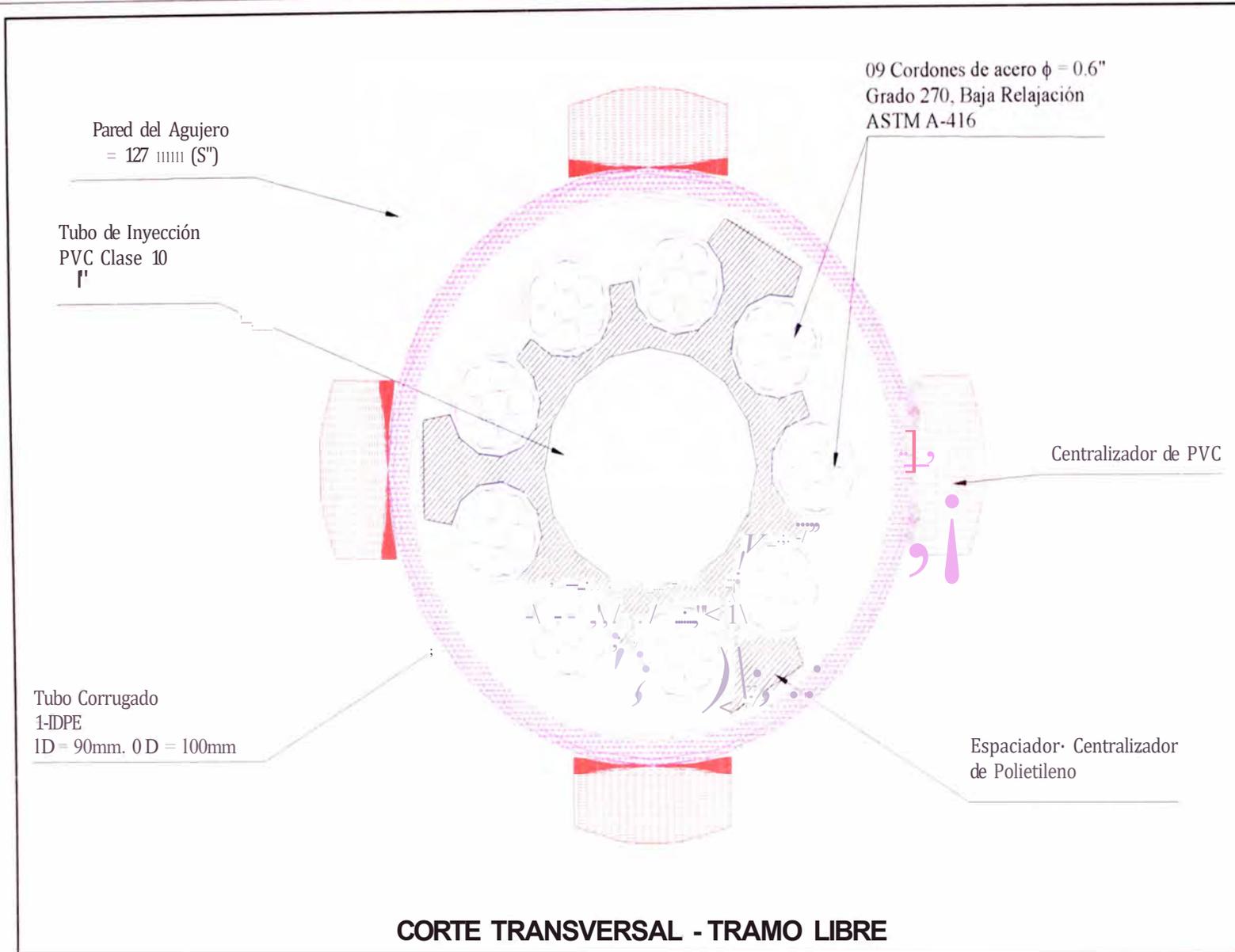


Figura N° 8.- Corte transversal del tramo libre (Fuente Propia)

e). Cabeza

Conocido también como cabezal de apoyo, aquí es donde se ejecuta el ajuste de los cables, que está apoyado sobre un bloque de transferencia de concreto armado de $f_c = 280 \text{ MPa}$, diseñado de tal forma éste distribuya los esfuerzos de tensión de manera uniforme al terreno.

El sistema de ajuste está compuesto de clavetes o cuñas tripartidas y un disco roscado, las cuñas soportarán a los cables ajustándolas al cabezal a la tensión de trabajo.

Todo el sistema del cabezal está protegido por grasa inhibidora de corrosión, la cual es aplicada una vez que el anclaje está puesto en servicio.

Además de los clavetes y el cabezal retensable, la cabeza del anclaje está constituida de los siguientes accesorios:

- Tubo de PVC 6" clase 10, el cual es instalado como encofrado y queda embebido en el bloque de transferencia de carga que hicimos referencia, este tubo es perpendicular a la cara externa del bloque de transferencia, y, por consiguiente, tiene que tener el alineamiento del anclaje (ver figura N° 8).
- Placa de apoyo de acero (280 x 280 mm), la cual servirá de apoyo del cabezal retensable, y un tubo de acero de $\phi = 5"$ que estará soldado a la placa de apoyo, cumplirá la función de protección de la funda corrugada PVC que llega hasta 100 mm antes del final del tubo de PVC de 6". (ver figura N° 8).
- Oring seal de goma (6.3 mm diámetro), el cual será colocado para separar dos zonas entre la lechada de cemento inyectada durante la instalación y la grasa anticorrosiva de protección de la cabeza, el espiral será colocado entre el tubo corrugado y el tubo de acero de 5" (ver figura N° 8).
- Mortero (grout Sika 212 o similar) $e = 6.3 \text{ mm a } 25.4 \text{ mm (1/4" a 1")}$, para establecer una superficie resistente y nivelada, es un grout anticontracción, será

colocada entre la placa de apoyo y la superficie del bloque de transferencia (ver figura N° 8).

- Calzas de acero en media luna de 1/2" y 3/4" son colocadas entre la placa de apoyo y el cabezal retensable, estas permiten regular las cargas de trabajo del anclaje, en el caso de que este se sobrecargue con el tiempo, las calzas permitirán disminuir los esfuerzos de tensión en los cables si es que quitamos alguna de ellas, de igual manera podemos incrementar la carga del anclaje colocando calzas según nuestra necesidad (ver figura N° 8).

- Cabezal roscado de acero que permite el acoplamiento con los accesorios del gato hidráulico durante el tensado y posteriormente cuando se requieran hacer ensayos de Lift Off y regular las cargas de trabajo, el cabezal está perforado en su superficie en un número de 9 agujeros (para el caso, pudiendo ajustarse de acuerdo al número de cables) para que los cables puedan pasar; Se suministran con sus respectivos clavetes o cuñas tripartidas para el ajuste (ver figura N° 8).

- Tapa metálica para cubrir el cabezal, dentro de esta tapa luego de ser instalada se llenará de grasa anticorrosiva (ver figura N° 8).

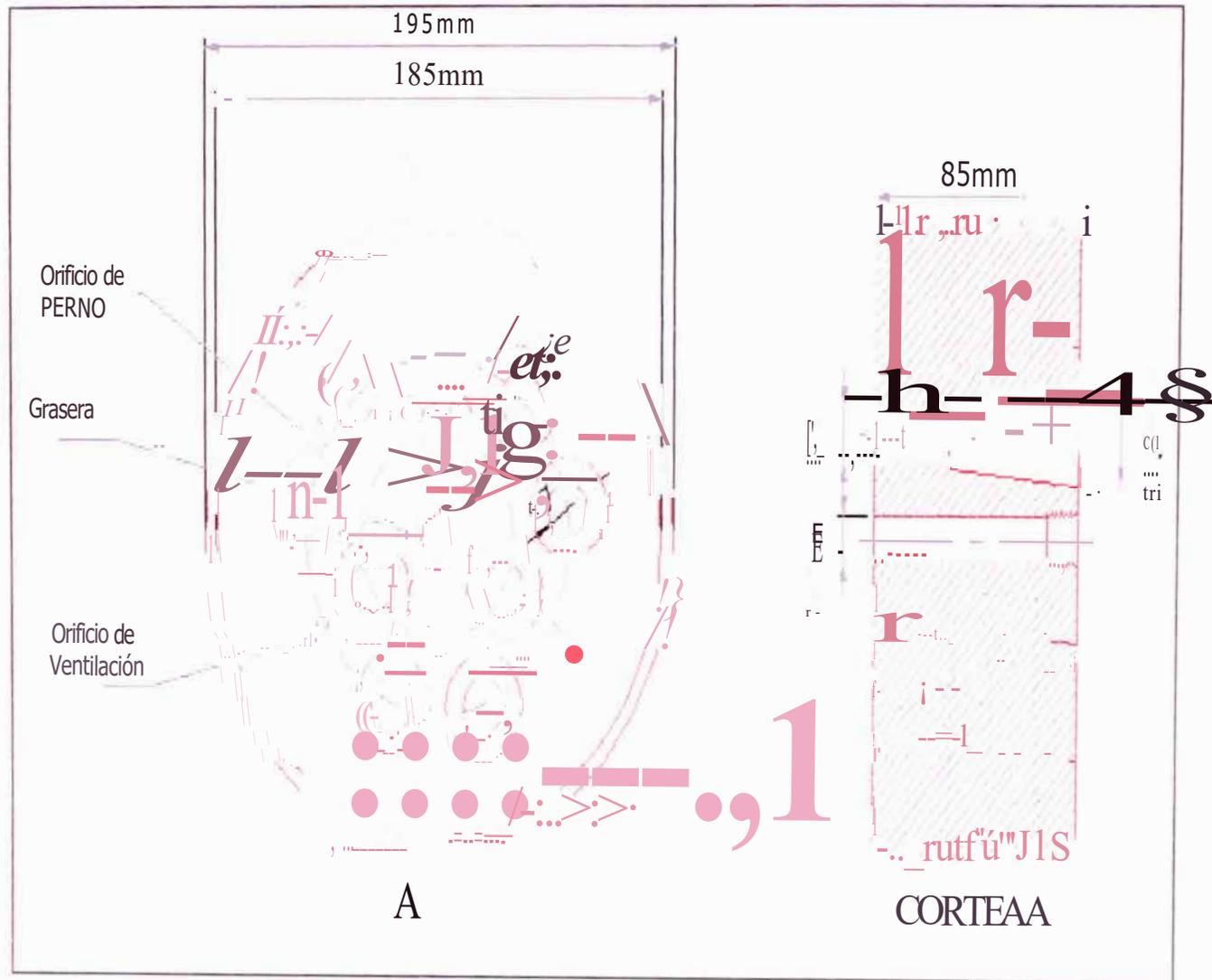


Figura N° 8 Cabezal retensable roscado (Fuente Propia).

1.3.4 PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

El fenómeno de corrosión de los aceros es un fenómeno fisicoquímico y ocurre cuando se produce una reducción local del pH, que da origen a la formación de zonas Anódicas y Catódicas, bajo la presencia de condiciones propicias, constituyendo un proceso espontáneo en el que el acero se oxida para retomar a su forma primigenia natural, para lo cual se configuran las denominadas "Celdas de Corrosión". Se presenta al tener cerca de la estructura metálica materiales contaminados con sales, cloruros (cloruro de Calcio, de Sodio, etc), además por ser este un basamento rocoso de procedencia marina contiene sales solubles que al estar disueltas pueden llegar hasta el anclaje y corroer el acero.

Dadas las responsabilidades de las prestaciones mecánicas que deben cumplir los anclajes de cables, se ha previsto la protección doble contra la corrosión, con recubrimiento total del tramo anclado y libre con una funda de PVC o HOPE y protección individual de cada cable de la zona libre con tubos de polietileno y grasa, para garantizar una vida útil; para esta aplicación se utilizará la protección tipo C para anclajes de cables.

El acero embutido, una vez fraguada la lechada de cemento, alcanza un pH alto (próximo a 10), formando un todo solidario electroquímicamente estable, en el que los incipientes puntos de corrosión que pudiera tener al estar expuesto al medio ambiente durante su construcción se inhiben definitivamente al formarse una película pasivante que impedirá la corrosión, esto para el tramo del bulbo, que a su vez está protegido con la funda corrugada de PVC.

La doble protección que presentan los anclajes está diseñado para inhibir los ataques de la humedad, el Oxígeno y los contaminantes salinos, el CO₂ y SO₂ del aire, el tubo corrugado actúa como una membrana que previene la intrusión de la humedad, el Oxígeno y las sales, especialmente los cloruros o el Ion Cloruro.

Para la construcción de los anclajes deberán tomarse las precauciones para no utilizar materiales contaminados, se deberá de verificar los componentes y materiales mediante pruebas de laboratorio.

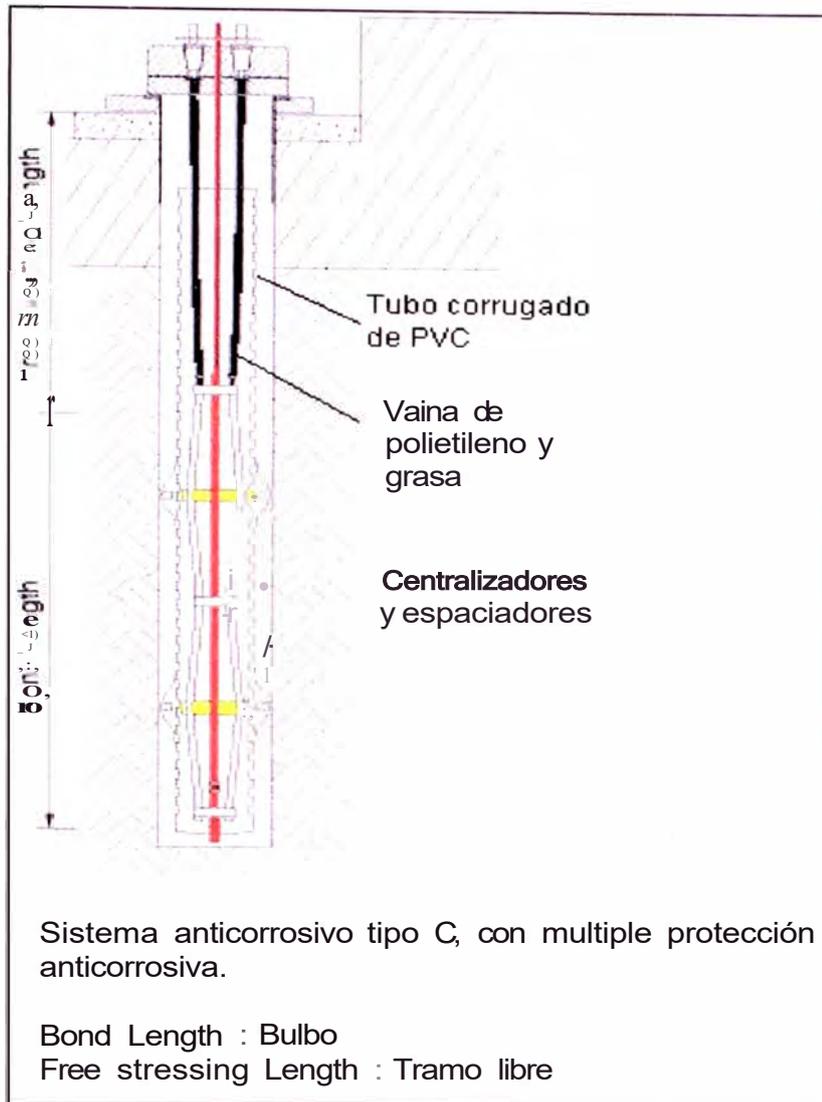


Figura N° 9.- Protección anticorrosiva (OSI - Systems).

Las zonas más vulnerables para un anclaje son el tramo libre y la cabeza del anclaje mas aun por estar ambas sometidas a esfuerzos de tensión. Para proteger la cabeza que se encuentra directamente en contacto con el medio ambiente, se usa grasa inhibidora de corrosión a base de Jabón de Litio para proporcionar lubricación permanente y protección duradera; estos tapones mantienen el pH en un valor conveniente que aseguran la duración ilimitada de la protección.

La protección superficial de los cables como la galvanización queda desestimada, porque basta un pequeño desconchamiento y prácticamente es inevitable la concentración en ese punto de la corriente eléctrica de la pila de zinc-acero. Las pinturas epóxicas pueden también desconcharse o cuartearse, pero presentan la ventaja de no formar pila eléctrica con el acero, es por eso que en la actualidad se

esta dejando de lado ese tipo de protecciones cuando se trata de anclajes permanentes.

Para finalizar hacemos la anotación del fenómeno de corrosión bajo tensión; Este tipo de corrosión puede provocar el colapso súbito de las estructuras preesforzadas. Cabe mencionar las fallas por corrosión bajo tensión que ocurrieron en obras importantes:

- 1967 en EE.UU., colapso del puente Silver sobre el río Ohio, que costó la vida de 46 personas.
- 1980 en México, colapso del techo del auditorio Benito Juárez en la Ciudad de Guadalajara, Jalisco, que pudo costar la vida a más de 10,000 personas.
- 1981 en Maracaibo, Venezuela, sustitución de mas de 1,300 toneladas de acero de los cables del puente atirantado que se encuentra en este lugar, debido al deterioro por corrosión bajo tensión.
- 1985 en México, colapso del puente Papagayo, en la carretera costera del pacifico, tramo Acapulco-Pinotepa Nacional, por corrosión del acero de refuerzo.

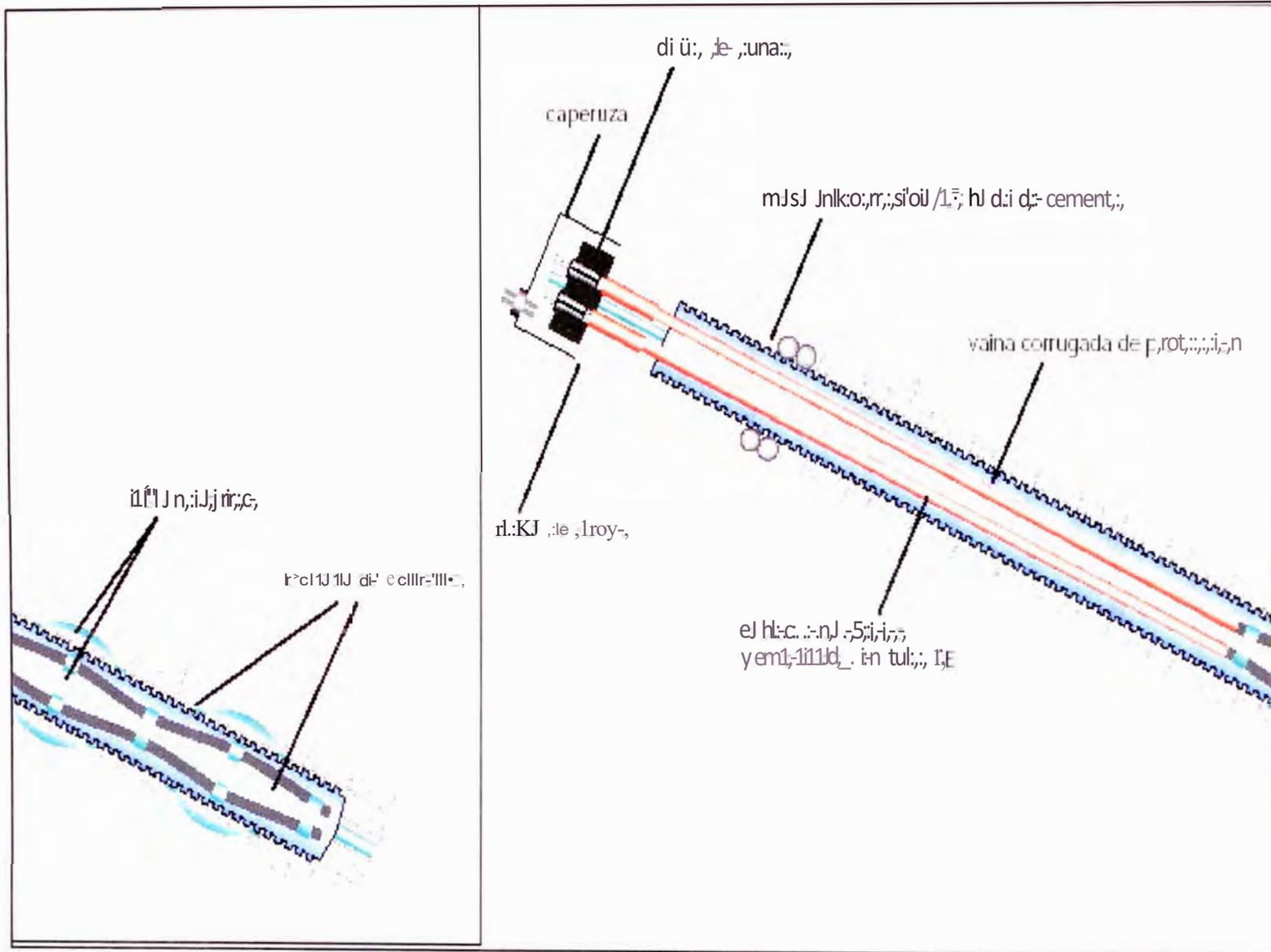


Figura N° 10 .- Anclaje de Cables con Doble Protección Anticorrosivo (OSI - Systems)

1.3.5 Trabajos para la Instalación de Anclajes

Constituyen los trabajos de perforación, consolidación, reperforación y pruebas de presión de agua, todos estos previos a la instalación de los anclajes.

Al reconocer el área donde se realizarán los trabajos, se tendrá que ejecutar un levantamiento topográfico del área donde se tendrán que realizar las operaciones o ayudarse de la información que pudieran aportar los planos topográficos, con la finalidad de diseñar los sistemas de izaje de equipos y materiales (dependiendo de la topografía), así como la construcción de plataformas de trabajo con la inclusión de andamios metálicos para poder realizar las operaciones de perforación con los equipos rotoperkusivos, centrales de inyección para la consolidación y demás elementos necesarios.

A su vez antes de iniciar con los trabajos, se deben realizar las instalaciones de los servicios auxiliares, tales como el suministro de energía eléctrica (220V y 440V), agua industrial, líneas de aire comprimido y la incorporación a la obra de los equipos de perforación, inyecciones y el suministros de materiales propios para la ejecución de la Obra, acondicionamiento del almacén que se encuentre lo más cercano a la zona de trabajo, posiblemente campamentos y comedores para el personal obrero.

1.3.6 Trabajos Preliminares

Los trabajos preliminares antes del inicio de la perforación son:

- a. Habilitación del terreno y colocación de soportes (dowels) en el talud para dar soporte a la construcción de andamios y asegurar los equipos de perforación.
- b. Instalación de los elementos de transporte (winches, cables de acero) que servirá para transportar los materiales y equipos.
- c. Construcción de plataformas de perforación mediante andamios metálicos, dependiendo de los frentes de trabajo disponibles.
- d. Instalación de servicios auxiliares de agua, instalaciones eléctricas, líneas de aire comprimido.

- e. Construcción de oficinas, almacén de obra, comedores, bancadas para el montaje de los anclajes, estructuras para la central de inyección, ambientes especiales para el almacenamiento del cemento y agregados.
- f. Instalación de servicios higiénicos o la adquisición de baños portátiles, según la necesidad

En este tipo de obras donde se utilizarán equipos pesados y los cuales estarán en constante vibración producto de los esfuerzos de perforación, es indispensable contar con un sistema de andamiaje metálico seguro que garantice la construcción de las plataformas, esto brinda mucho mayor seguridad y además es mucho más rápido en su instalación y desmontaje, en el mercado contamos con compañías que brindan servicios de alquiler de este tipo de elementos como son Alcisa, Acrow, Unispan, Efco, etc.

Esta es una etapa decisiva en cuanto a la planificación de los trabajos; si contamos con una plataforma segura y fácil de armar y desarmar se podrá ejecutar los trabajos de perforación e instalación con toda seguridad y con rendimientos óptimos.

Una vez lista la plataforma se puede iniciar a marcar sobre la superficie del talud los puntos donde se realizarán las perforaciones, esta ubicación se realizará en coordinación de la supervisión, de tal forma que los anclajes cumplan con los espaciamientos y ubicación sea la más cercana al diseño, es común que en este tipo de obras la ubicación de los puntos de perforación puedan moverse en sentido vertical u horizontal (± 0.5 m) de su posición establecida con la finalidad que la superficie del terreno sea la mas apropiada para dar inicio a la perforación.

Es muy importante iniciar la perforación con un alineamiento bien definido, se debe de ejecutar teniendo la mayor seguridad de estar cumpliendo con esta; Es muy común en este tipo de perforaciones las intersecciones entre taladros cuando estos no son alineados paralelamente; es por esto que se sugiere dar mucha importancia en esta labor previa a la perforación, se deben de usar equipos topográficos, tales como teodolitos, niveles y brújulas para el alineamiento.



Fotografía N° 10.- Alineamiento y Verificación de la inclinación del ángulo vertical de perforación.

1.3.7 Perforación de Sondeos

El objetivo de la perforación es el de garantizar las características geométricas previstas en lo referente a la longitud, inclinación y diámetro del taladro.

El diámetro elegido para la perforación es función de los elementos constituyentes de los anclajes y por lo tanto del diámetro del anclaje, de tal forma que permita su instalación del modo más fácil posible, el PTI establece un diámetro mínimo el cual está en función al espacio anular entre la protección de PVC o HOPE y la pared de perforación teórica la cual no debe ser menor de 0.5".

La perforación para la construcción de anclajes es una de las etapas más importantes y la más crítica durante la concepción del proyecto, aquí cabe una explicación didáctica del proceso.

Primeramente podemos decir que elegir el método de perforación es muy importante, porque permitirá abaratar nuestros costos y optimizar los rendimientos de trabajo; evidentemente tomando en cuenta el tipo de roca, velocidad y eficiencia de las operaciones de perforación, disponibilidad para la maquinaria donde se deberá operar, tipo de energía disponible y costo de mano de obra; éstas

condiciones deberán evaluarse antes de la elección definitiva, considerándose la localización de la obra.

Pero la elección del método de perforación considera también aspectos ejecutivos, principalmente alternativos, que se pueden dar durante la ejecución de los trabajos, teniendo que ser flexibles a los cambios que pudieran surgir durante la perforación, teniendo que combinar ambas alternativas de sistemas si las circunstancias lo requieren.

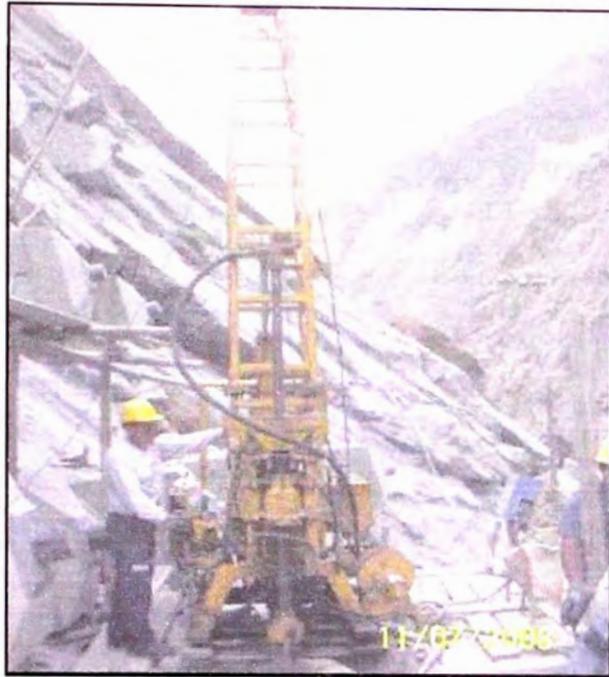
(a) Sistema Rotativo Convencional

Este sistema utiliza la mayor parte de la energía del equipo en el movimiento rotativo. Este proceso generalmente adopta al agua para la limpieza del taladro y refrigeración de la herramienta de corte. El sistema, muy utilizado en sondajes con recuperación de muestras inalteradas de roca. El proceso permite perforar y revestir el taladro. Este método de perforación, en la actualidad se usa para la obtención de muestras para inspección visual de los macizos, análisis, interpretación geológica, etc.

En este método las herramientas de perforación son las coronas de diamantes, aunque en algunos casos se emplean las coronas de metal duro o de carburo de tungsteno, que van montadas en el extremo de un tubo y accionado éste por la máquina de perforación a través del varillaje.

(b) Sistema a RotoperCUSión

El principio de perforación de estos equipos se basa en el impacto de una pieza de acero (pistón) que golpea a un accesorio que a su vez transmite la energía al fondo del barreno promedio de un elemento final (boca); los fundamentos de la penetración de cualquier material se concretan en producir las tensiones suficientes a través de una herramienta, de forma que superen la resistencia de la roca. La herramienta o boca percute sobre la roca en dirección axial y repetitiva, produciéndose durante el rebote un giro de la misma, de magnitud definida.



Fotografía N° 11.- Equipo de perforación diamantina.

Equipos existentes

Los equipos disponibles para realizar estos trabajos son de dos tipos:

a. Perforadoras neumáticas

El fluido de accionamiento es el aire comprimido, siendo el sistema de perforación más tradicional para diámetros de barreno inferiores a 150 mm, basada en la sencillez técnica de su diseño, la robustez, **la facilidad de mantenimiento y su bajo coste de capital.** El principio fundamental de la perforadora rotopercusiva es el desplazamiento de un pistón, empujado por aire comprimido, transfiriendo la energía en forma de onda de choque hasta la roca.

El sistema de rotación permite el giro del varillaje y la boca en cada impacto. El avance o empuje es aplicado por un sistema de accionamiento hidráulico o neumático, el cual es transferido a una cadena, consiguiéndose el empuje por el esfuerzo de tracción que realiza la cadena, su popularidad se basa en su sencillez, mejor tolerancia de usos incorrectos y facilidad de reparación en obra.

b. Perforadoras hidráulicas

Los componentes esenciales de una perforadora hidráulica son similares a la de una neumática, radicando la diferencia fundamental en el fluido de accionamiento, que en este caso es aceite presurizado cuyo flujo permite desarrollar las funciones rotopercusivas.

La gama de perforadoras es mayor que las neumáticas, ya que aunque comienzan ambas con los martillos ligeros de mano, las perforadoras hidráulicas que son pesadas permiten mayores diámetros de perforación.

En términos generales del cuadro presentado abajo podemos decir que los rendimientos son, como mínimo, del orden de tres veces mayores en la perforación hidráulica que en la neumática, además de las hidráulicas presentan ventajas en los siguientes ítems:

- Mejor rendimiento energético (>3: 1).
- Mejor transmisión de la potencia producida y, como consecuencia, mayor vida de los accesorios de perforación al ser la onda de choque mas uniforme.
- Mayor velocidad de penetración.
- Mejores condiciones ambientales, esto es, menor nivel de sonoridad, por carecer de escape y, por lo mismo, ausencia de gases y nieblas del aceite de engrase de las neumáticas.
- Mejores condiciones de regulación de los distintos parámetros, como percusión, avance, rotación, sistemas de atranque. etc.

Los inconvenientes son:

- Mayor complejidad de los elementos hidráulicos, como bombas, motores, válvulas, etc.
- Mayor formación del personal de operación y mantenimiento.

Son mucho más pesadas, por lo que es difícil trabajar en zonas poco accesibles, no recomendables para trabajar en plataformas.



Fotografía N° 13.- Equipo de perforación Hidráulico - Mustang.



Fotografía N° 14.- Equipo de perforación Neumático - Trackdrill.

Comparación de los sistemas de perforación neumático e hidráulico

PARÁMETROS	NEUMÁTICO	HIDRÁULICO
		0
Presión de alimentación (Mpa)	0.7	18.5
Diámetro de la boca (mm)	45	45
Velocidad de penetración (mm/min)	125	125
Consumos:		
• Perforación	12.7 (m ³ /min)	83.3 (l/min)
• Rotación	5.7 (m ³ /min)	11.3 (l/min)
• Avance	0.7 (m ³ /min)	3.8 (l/min)
• Refrigeración		11.4 (l/min)
Potencia consumida (kW)		
• Perforación	80	26
• Rotación	36	3.7
• Avance	4.5	1.1
• Refrigeración		3.7
Total	120.5	34.5
Potencia de impacto (kW)	9	9
Rendimiento global (%)	7.5	26.1
Rendimiento de perforación (%)	11.3	34.6

Cuadro N° 5.- (Manual de Sondeos - López Jimeno, Carlos)

Se ha hablado de los equipos en si, haciendo la comparación de ambos, esto nos sirve como base para poder elegir con cual de ellas trabajaremos, pero tenemos que tener en cuenta todo lo mencionado anteriormente, y aplicarlo a nuestra necesidad y establecer entre ambos equipos cual será el mas recomendable.

En nuestro caso emplearemos las perforadoras neumática, por ser estos equipos más livianos y fáciles de maniobrar en zonas inaccesibles y de altura, y sobre plataformas que no están diseñadas para soportar cargas dinámicas y estáticas elevadas producto de las actividades de perforación, como las que proporcionan las perforadoras hidráulicas, las cuales son más usadas en túneles y trabajos a nivel del suelo.

El diámetro a perforar para nuestro caso es menor de 150 mm, por lo tanto se utilizará el equipo neumático, el costo de mantenimiento de estos equipos son menores.

Al utilizar el tipo neumático tendremos que aprovechar al máximo su potencia y evitar pérdidas, es por eso que se recomienda utilizar los martillos de fondo cuando se trata de utilizar al máximo la energía neumática entregada, el martillo de fondo se posiciona dentro del agujero de perforación, y se ubica a continuación de la boca, este tipo de montaje evita la pérdida de energía que se produce en su transmisión a través de las varillas y acoplamientos característicos en la perforación en cabeza, lo que permite una penetración homogénea con el aumento de profundidad, tiene ventaja adicional porque es mas fácil encontrar en stock, además de precisar las ventajas que se tienen al trabajar con estos martillos:

- Permite la perforación de barrenos largos en formaciones duras. En nuestro caso profundidades de mas de 40 m.
- Mantiene la direccionalidad de la perforación dentro de unos márgenes muy pequeños.
- La velocidad de penetración es muy regular con el aumento de la profundidad.
- La utilización como fluido de barrido del aire de escape que acciona el martillo reduce el consumo del mismo.
- Mayor vida del varillaje, ya que no transmite la percusión.

Pero por el contrario, los inconvenientes que presentan son:

- Elevado riesgo de pérdida del martillo en el caso de atropamiento del martillo y varillaje dentro del barreno en perforación.
- Imposibilidad actual para perforar barrenos de diámetros inferiores a 76 mm (en este caso se utilizaran martillos de superficie).
- Consideración del martillo como un accesorio de desgaste más, motivado por su limitada vida.

Cuando trabajamos con equipos neumáticos debemos tener presente que la potencia de las compresoras deberá ser lo suficiente para mantener un rendimiento óptimo de las perforadoras. La presión de aire mínima para un equipo con martillo de fondo deberá ser de 12 bar - 14 bar, independiente del tipo de roca a perforar. La caída de 2 bar en la presión significa una caída de 20% en la eficiencia de la perforación, es decir para 10 bar entregados por el compresor la eficiencia caerá hasta un 80%.

A diferencia que cuando se trabaja con un martillo de superficie la presión del aire puede ser de 8 bar - 10 bar.

Además muy importante remarcar que el aire necesario para la perforación está en función de la profundidad a perforar, para profundidades mayores a 20m, se requiere presiones de aire mayores a 12 bar, las compresoras requeridas para este tipo de perforaciones tendrán que tener una gran potencia de entrega.

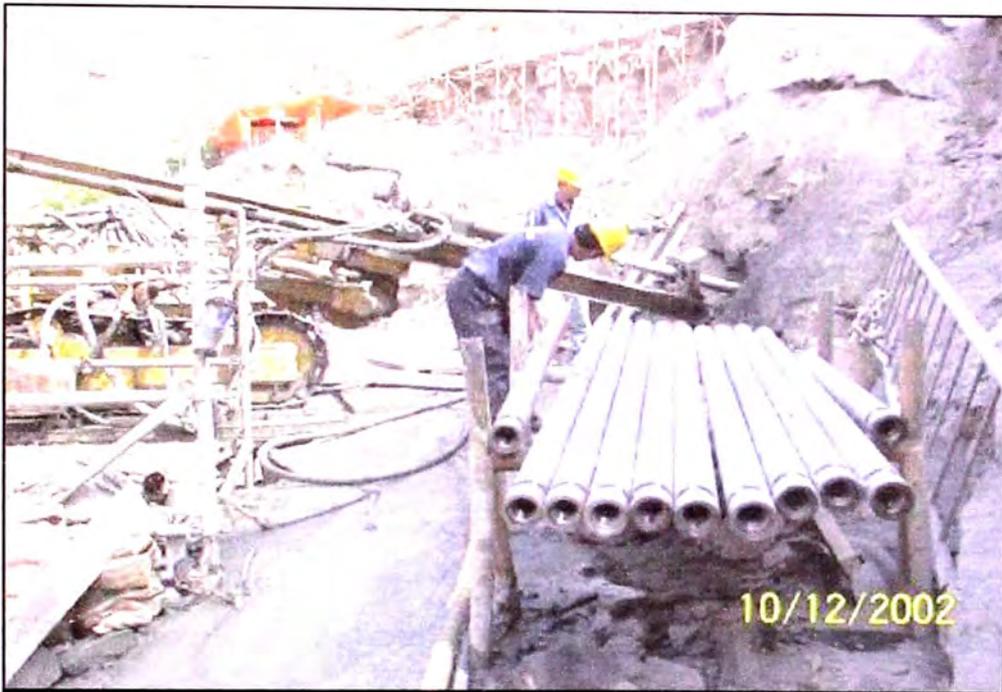
Sistemas de montaje de las perforadoras

Las perforadoras rotoperkusivas se disponen en diversos sistemas portadores, dependiendo del peso, nivel de mecanización y aplicación de las mismas, se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Manual.
- Semimóviles.
- Sobre neumáticos (Wagondrill)
- Sobre orugas (Trackdrill)

Trabajos durante la peñoración

Con los equipos Y el personal distribuido para cada frente se procede a dar inicio a las actividades de perforación, para esto daremos a conocer las consideraciones que debemos de tener en cuenta para no incurrir en errores y perdida de equipos y tiempos.



Fotografía N° 15.- Varillaje de perforación.

El orden y la debida disposición del lugar de trabajo tienen gran importancia, es recomendable disponer de estantes para las barras de perforación, esto facilita a conservarlas limpias y asegurar un empleo uniforme mediante la circulación de las barras.

Como se ha indicado al comienzo la perforación es una actividad que por lo general está ubicada dentro de la ruta crítica de este tipo de proyectos, por lo que debemos ser muy cuidadosos en su planificación.

A. Distribución del personal

Es necesario conocer el manejo de personal en el frente de trabajo para este tipo de proyectos y saber distribuirlos, para esto solo contamos con puntos específicos de perforación previamente ubicados en el terreno (talud). Las plataformas de perforación suelen ser de 6 a 7 m ancho y el largo dependiendo del frente de trabajo, los puntos de perforación suelen estar espaciados entre 2 m a 3 m.

La distribución del personal para la perforación estará dada respecto a la cantidad de equipos de perforación, para cada equipo de perforación son necesarias 03 personas como máximo y 02 como mínimo, las cuales son: 01 operario (perforista), 02 ayudantes (encargados del varillaje).

El número de perforadoras es el necesario para no dificultar las maniobras durante los trabajos de perforación, una perforadora puede abarcar de 3 a 4 puntos de perforación.

B. Perforación de taladros

Al dar inicio a la perforación es de suma importancia el alineamiento y el emboquillado, para evitar desviaciones de los taladros durante las labores de perforación.

Todos los taladros que se perforan están dirigidos siguiendo un azimut determinado, de tal forma que este sea contrario a la dirección de deslizamiento del macizo rocoso.

La precisión con que se alcanza este punto en la práctica depende de:

1. Emplazamiento estable del equipo de perforación

Quiere decir que el equipo de perforación no deberá moverse en el sentido de la perforación, ni lateralmente; deberá mantener una posición rígida, para equipos livianos como el Wagon drill, será necesario apuntalar o arriostrar el equipo a la plataforma de perforación o a otra estructura cercana, de tal manera que las ruedas no giren.

2. Alineación exacta del avance

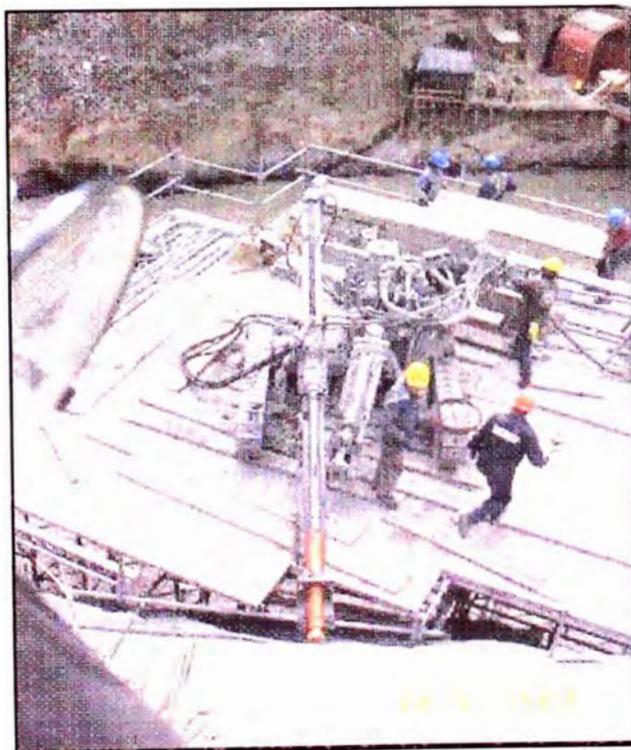
Durante los trabajos será necesario chequear constantemente el alineamiento del avance, así como el ángulo respecto a la vertical con el cual se está perforando.

3. Emboquillado exacto

Esto es una parte vital de la perforación, en cuanto a los esfuerzos que actúan sobre los útiles de perforación y al resultado de la perforación como la dirección del barreno. El emboquillado debe realizarse con una percusión reducida y con pequeña fuerza de avance. Esto reduce el peligro de fallos de las barras, sobre todo en aquellos casos en que la superficie del terreno presenta unas características desfavorables.

Por razón de dirección del barreno, es mejor emboquillar contra una superficie plana que seguir exactamente el plan de perforación y arriesgarse a que se produzcan desviaciones por haber emboquillado contra una superficie oblicua. Cuando la broca ha entrado en contacto con la roca y ha perforado en ella unos pocos centímetros, se aumentará la acción de percusión y la fuerza de avance.

Si se desvía la barra, hay que ajustar debidamente la deslizadera, para que la barra quede en el centro del barreno y alineada con ella misma. El sujetador de barrenas debe proporcionar a la barra un eficiente soporte durante la perforación.



Fotografía Nº 16.- Alineamiento horizontal de la dirección de perforación.

4. Evacuación de detritus

Al perforar barrenos de diámetro moderado en roca blanda o semidura, las potentes perforadoras producen cantidades muy grandes de detritus, entonces, el barrido puede no tener capacidad suficiente para retirar todos estos residuos. La energía aportada no se utiliza eficientemente, ya que la broca no puede trabajar contra el fondo del barreno porque dicho fondo está obstruido por residuos que son triturados de nuevo.

En tales condiciones, la velocidad de penetración puede aumentarse en las siguientes formas:

Reduciendo la energía de impacto.

Mejorando el barrido mediante el aumento de la presión del aire.

Eligiendo barras cuyo orificio de barrido sea lo mayor posible.

5. Energía de impacto

En roca dura, la velocidad de penetración está limitada por la capacidad del mecanismo de impacto. Una mayor penetración se consigue utilizando al máximo la energía de impacto y la fuerza de avance, al mismo tiempo que se regula cuidadosamente la rotación.

6. Atasco

El atasco es una causa corriente de interrupciones en los trabajos de perforación, especialmente en roca blanda o fracturada. Hay que tener en cuenta de manera importante que para impedir el atasco se debe asegurar un barrido eficiente.

Para soltar una broca atascada, se procura retirarla con el mecanismo de impacto y la rotación funcionando, barriendo enérgicamente al mismo tiempo. En este tipo de perforaciones que son profundas, hay que tener

mucho cuidado de que las uniones en el varillaje no se suelten.

7. Pesca

Ocurre a veces que un útil de perforación se pierde en el barreno, por ejemplo, si se suelta una unión o si se rompe una barra. Entonces es corriente intentar salvar tanto la herramienta como el barreno "pescando" el equipo perdido. Para este fin existen manguitos cónicos de pesca que presionándolos sobre manguitos o barras,

perdidos en el barreno, o bien con punzones cónicos que entran a presión en los orificios de barrido de las barras, se logran recuperarlos.

Al perforar este tipo de barrenos que son largos, es esencial asegurarse de que el barreno ha sido limpiado completamente por el barrido, antes de parar el barrido para empalmar una nueva barra.

También se debe tener en cuenta que una rosca nueva se desgasta más rápidamente de lo normal si esta es empalmada con una rosca desgastada. Por eso, al acoplar útiles entre sí debe evitarse mezclar piezas nuevas con otras desgastadas.

8. Circulación de las barras

Todas las barras de un varillaje deben usarse por igual para que el desgaste este distribuido uniformemente. Por consiguiente, se debe hacer "circular" las barras de forma que la más próxima a la broca en un barreno sea la más próxima al adaptador en el barreno siguiente.

La comprobación de esta "circulación" se facilita marcando de colores las barras y usando estantes adecuados para ellas. Para evitar interrupciones en el trabajo en caso de fallo de una barra, se debe disponer de algunas barras de reserva, que se tendrán a mano, también estas barras de reserva deben participar en la circulación.

Se reduce el desgaste y se simplifican la unión y el desacople aplicando a las roscas grasa. Tanto las roscas como la grasa deben mantenerse limpias y protegidas del contacto con los residuos de perforación, porque, en caso contrario, se produciría un fuerte desgaste.

Longitud del barreno

Para conocer la longitud del barreno es necesario conocer la longitud libre y la longitud del bulbo; la suma de ambas longitudes dará como resultado esta longitud, es lógico pensar que la longitud libre del anclaje será variable, debido a la irregularidad del macizo indicado, la longitud del bulbo será fija, ya que esta es una función de la carga de trabajo del anclaje que transmitirá al terreno, cuya ubicación será por debajo de la superficie de deslizamiento.

El tramo libre condicionará la longitud del barreno y, por consiguiente, la longitud del anclaje, debiendo estar el bulbo por debajo de la superficie de deslizamiento, decimos esto porque es necesario que el bulbo se encuentre emplazado en un tramo de roca sana, esto se reconoce en plena perforación observando el detritus eliminados por el barrido, siendo estos muy finos; además, en esta zona, el ritmo de perforación es uniforme, siendo el retorno de aire a la superficie casi del 100%, a diferencia que cuando nos encontramos en zonas fracturadas, donde el retorno del aire es escaso.

Durante los estudios geotécnicos que se realizan para el diseño se estima la superficie de falla más probable, que es la zona de contacto donde se encuentra material cizallado, muy fragmentado, con presencia de arcilla, $ROO < 10\%$.

Una manera también de darse cuenta es cuando la perforadora cambia a una percusión, velocidad de avance y rotación constante, además en muchos casos no es necesaria la operación del perforista (muy común).

La longitud definitiva del anclaje será confirmada durante la perforación por la zona de contacto, entendiéndose que la perforación debe ejecutarse por debajo de esta, para garantizar una seguridad de la obtención bulbo y del anclaje propiamente, se deberá dar un margen de 2.00m como mínimo desde el contacto.

Es decir, la longitud del agujero perforado será:

$$\text{Longitud del agujero} = \text{Tramo libre} + \text{bulbo de diseño} + 2 \text{ m}$$

1.3.8 INYECCIONES DE CONSOLIDACIÓN

La consolidación de barrenos, es la inyección de lechada de cemento, o mortero en sectores donde sea necesario llenar los vacíos alrededor de estos, para aumentar la resistencia estructural y reducir la permeabilidad del material circundante.

Durante los trabajos de perforación ocurren problemas de atoros de la sarta de perforación, debido a derrumbes producto de la pobre conformación del terreno, estas zonas que atraviesan los martillos son zonas de mucho fracturamiento que

dificultan las tareas de perforación, por lo que son necesarios los trabajos de consolidación; por estas dificultades los trabajos de perforación están condicionados a la consolidación.

La consolidación en este caso permite aumentar la resistencia estructural y reducir al mínimo los derrumbes dentro de los barrenos durante la perforación.

Las inyecciones de consolidación para anclajes se llevarán a cabo en la longitud total del agujero, después de haber terminado las inyecciones de consolidación el agujero volverá a ser perforado (Reperforación).

a. Ejecución de la inyección

Para ejecutar los trabajos de inyección se deberá de contar con los materiales y el equipo necesario, para que el trabajo sea satisfactorio.

Las mezclas de lechada de cemento deberán ser de 0.45 - 0.5 (a/c).

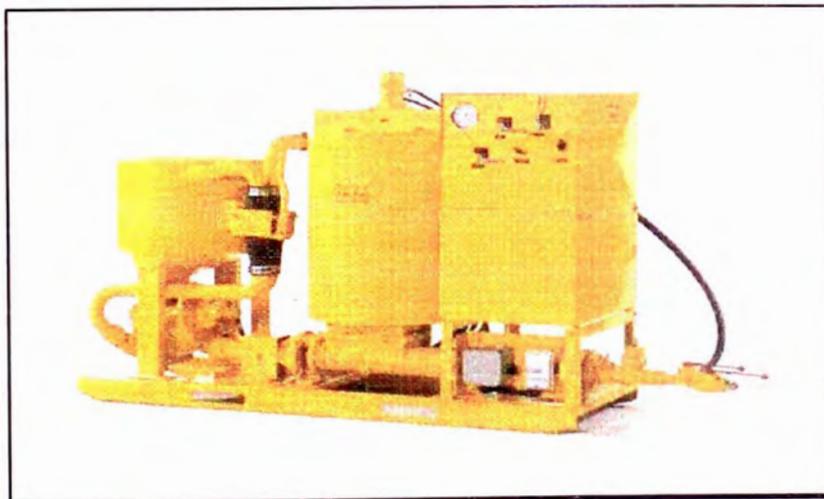
Las mezclas de mortero deberán tener la siguiente proporción:

Arena (2) : cemento(1) : agua (0.5)

Para esto se necesitarán:

Válvulas, indicadores de flujo, indicadores de presión, tubos niples para lechada, obturadores accesorios, y todas las herramientas necesarias para proveer un suministro continuo de lechada, mortero y un control de presión preciso.

Se necesitará una mezcladora coloidal de alta velocidad y de funcionamiento mecánico.



Fotografía N° 17.- Central de inyección para lechada y mortero
(Atlas Copeo).

El procedimiento para consolidar es como sigue a continuación:

- Identificado el tramo a consolidar dentro del barreno, procedemos a obturar desde la boca del barreno hasta donde quedó la perforación, esta primera operación será siempre desde la boca, ya que el barreno deberá ser consolidado en su totalidad.
- Obturado el tramo con una presión superior a la del enlechado (10 bar aprox.), Se bombeará con presiones y ritmo tal que sea continua y ascendentes, esta operación será registrada, recopilando todos los datos necesarios (presión de inyección, presión de rechazo, relación a/c, tiempo de operación, etc).
- Cuando el caso no lo permita, no se lavará los barrenos (tramos brechosos), pero en los tramos siguientes será necesario lavar los agujeros con agua a presión antes de las inyecciones a presión para quitar toda la acumulación de finos, barro de barreno o materiales extraños entre las fracturas. Los agujeros serán lavados con inyección de agua en el fondo del agujero por cinco minutos o hasta que el agua salga clara.
- La presión de lavado no debe de exceder la presión de enlechado, se recomienda efectuar a una presión de 3 a 5 bares.
- La presión de inyección será controlada por medio de manómetros instalados en el punto de mezcla y en el punto de entrada de lechada al agujero.
- La presión será controlada por un operador, que mantendrá una presión constante de enlechado que no deberá exceder de 25 Kpa por metro de profundidad desde la superficie hasta el punto medio de la sección que se está inyectando, es decir, 0,25 bar por metro de profundidad.
- En el caso de no obtener resultados con presiones de rechazo, es decir, que el barreno absorbe toda la lechada y la presión requerida es cero, la relación agua cemento será gradualmente disminuida y se usarán mezclas más gruesas sucesivamente, cada una será inyectada por periodos de 10 minutos hasta que la absorción se estabilice o empiece a disminuir. Se puede cambiaremos la mezcla de lechada por un mortero fluido para asegurar un flujo continuo (relación 2: 1 cemento: arena), esto permitirá rellenar las fracturas más severas.
- Terminada la inyección se esperará un tiempo prudente a que la lechada fragüe y alcance como mínimo una resistencia a la compresión de 7 MPa para reperfilar el tramo consolidado y continuar con la perforación.

1.3.9 Reperforación

Los trabajos de reperforación, serán tales como los trabajos de perforación, la diferencia es que ahora perforaremos a través de mezclas de cemento como lechada o morteros, pero sin esperar a que estas alcance una resistencia mayor a 7 MPa, de lo contrario tendremos problemas de desvío de barrenos, ya que generalmente la lechada es mucho más dura que la roca fracturada de estos tramos.

Para este tipo de trabajo es usual utilizar las brocas **tricónicas**, las cuales son reemplazadas por las brocas de diamantes en los martillos de fondo. Como ahora la perforación será sobre material blando, el trícono tiene ventajas que permitirán que el barreno conserve la resistencia y estabilidad que se le dio con la consolidación.

El broca triconica posee conos autolimpiadores, limpiadores, de esta manera el detritus de perforación se limpia mediante el engranaje de los dientes de los conos.



Fotografía N° 18.- Broca Tricónica o Rolibit (Atlas Copeo).

La combinación de triconos se basa en la combinación de dos acciones como son la indentación, donde los dientes del trícono penetran en el terreno debido al empuje sobre el mismo. Este mecanismo es similar a la trituración; y el corte, que se

produce debido al movimiento lateral de desgarre de los conos al girar en el fondo del barreno.

Las acciones de corte solo se producen, como tal en materiales blandos, ya que en otros terrenos más competentes es una combinación compleja de trituración y cizalladura, debido al movimiento relativo de los conos.

Los triconos actuales son de chorro Uet) que impulsan el fluido (aire-agua) entre los conos directamente al fondo del barreno, para limpiar, tanto en el fondo del barreno como los conos.

1.3.10 Ensayo de Permeabilidad para la aceptación de la perforación

En esta sección expondremos los requisitos que debe de cumplir el agujero perforado para la aceptación y continuar con el proceso onstructivo de anclajes.

Es necesario antes de efectuar ensayo, que el barreno se encuentre libre de detritus o cualquier material que pueda obstaculizar el ensayo, es por eso que se debe de lavar el taladro en toda su longitud similar a como se efectúa el lavado antes de realizar las consolidaciones.

Equipos

El equipo consistente para las pruebas de presión de agua deberá ser tal que cumpla con las condiciones mecánicas adecuadas para la ejecución del trabajo satisfactoriamente. El equipo está conformado por bombas de agua, tubos, manómetros, válvulas, caudalímetros, obturadores y accesorios.

La bomba de agua a utilizar para la ejecución de la prueba debe de ser capaz de mantener presiones constantes. En el caso de no existir una bomba que mantenga las presiones constantes la bomba puede operar con un estabilizador de presión que le permita graduar las presiones constantes, la bomba puede entregar 10bar como mínimo.

Los manómetros que se utilizarán deberán tener precisión de 0.25 bares y capacidad máxima de 20 bares. Así mismo, los caudalímetros tendrán medidores

hasta de 0.0001 m³, es decir hasta una décima de litro, lo que proporciona suficiente precisión al ensayo (± 0.05 %).

Los obturadores serán del tipo de empaquetadura de cuero en forma de U múltiples, anillo de goma mecánicamente estirado, o manguito de goma estirado neumáticamente. Estos obturadores sellarán agujeros sin filtraciones en la zona del bulbo.



Fotografía N° 19.- Primero se introduce dentro del taladro el obturador para ensayar el tramo del bulbo; luego se toman lecturas del caudal perdido en el bulbo.



Fotografía N° 20.- Caudalímetro y manómetro para ensayo de permeabilidad

1.3.11 Suministro y Montaje de Anclajes

Para el suministro y montaje será necesario contar con un stock de materiales que cumplan con los requerimientos que exigen las especificaciones del proyecto.

El suministro y montaje comprende la selección de todos los materiales y accesorios para formar el anclaje como pieza mecánica de sostenimiento, el ensamblaje, el control de calidad y la instalación.

Aquí resumiremos todo lo referente a los demás materiales y accesorios.

Materiales

Los materiales, aparte de los cables de acero, que son usados para conformar el anclaje son los siguientes:

- Tubo corrugado: Tubo PVC en este caso, diámetro exterior 100 mm, espesor de pared 1mm; Capaz de transmitir esfuerzos desde la zona de cables a través de la lechada hacia el terreno, es flexible a los movimientos durante las pruebas de tensión, resistente al ataque agresivo de químicos ambientales (sales, sulfatos, etc), resistente al envejecimiento debido a la exposición a la luz ultravioleta, capaz de resistir la abrasión, impacto y torcimiento durante la manipulación e instalación y capaz de resistir las presiones internas durante la inyección de lechada de cemento.

- Espaciador y centralizadores: los usados serán de plástico, no se usarán los espaciadores centralizadores de madera. Los centralizadores apoyarán el anclaje dentro del agujero, los centralizadores se han diseñado para que la lechada fluya libremente alrededor del anclaje y del agujero del taladro. Los espaciadores se utilizan para separar el conjunto de cables y no se obstruyan.

- Tubo de inyección: de PVC con diámetro 1", los tubos de inyección de lechada tendrán un adecuado diámetro interior para permitir bombear la lechada al fondo del agujero del taladro, ellos podrán resistir hasta 1 MPa (150 psi) de presión.

Cabezal retensable (disco roscado): Fabricado de acero conforme a ASTM A36, A588, A709 o A 572, de 70 mm de espesor, con 9 agujeros cónicos para la fijación de los cordones al cabezal por acuíñamiento a través de clavetes cónicos tripartidos, este cabezal estará dispuesto con rosca tipo macho. El cabezal será suministrado con varios pares de medias lunas de acero de $\frac{1}{2}$ " y de $\frac{3}{4}$ " que servirán como calzas y serán colocados entre el cabezal y la placa de apoyo.

Accesorios: se suministrará en obra los accesorios necesarios para la construcción del anclaje, tales como acoples, espaciadores, separadores, manguitos, tapas, cintas auto vulcanizantes, etc.



Fotografía N° 21.- Cabezal retensable de 9 agujerJs troncocónicos para cables de Acero de 5/8".



Fotografía N° 22.- Cabezal retensable, se observa el detalle roscado, para poder ejecutar el retensado.

Montaje

El montaje es la etapa en la cual se construirán los anclajes, estos trabajos comenzarán a ejecutarse inmediatamente después de que se tengan definidas exactamente la longitud de los anclajes. En cuanto a las longitudes de los anclajes, ya definidos en el diseño, se debe prevenir con anticipación cualquier cambio en su dimensión; mas aun si se considera los datos obtenidos en plena obra con las perforaciones que se realicen, cuando se finalice una perforación, debe ser comunicada al personal ejecutor del montaje para de inmediato proceder al cortado de los cables, para establecer longitudes definitivas.

Para ejecutar el montaje de los anclajes será necesario ubicar un área de trabajo cercana a la zona de instalación, el cual permita un espacio longitudinalmente apropiado para poder construir una bancada de montaje. Esta se recomienda sea fabricada de madera por su bajo costo y fácil construcción.



Fotografía N° 23.- Bancadas para montaje de Anclajes

Se tendrá que disponer de un área en donde se pueda cortar y limpiar los cables, será necesario contar con un área libre de trabajo de aproximadamente la longitud de los anclajes por 2 m de ancho, es importante contar en esta etapa con todo el suministro de materiales y accesorios para no retrasar el cronograma de trabajo.

Parte del montaje es la preparación del cable, el cual es el elemento más importante del anclaje, este será preparado con anticipación, esta preparación

corresponde principalmente a la zona del bulbo, la cual deberá estar sin envainar y desgrasado, para esto, se retirará el forro y luego se elimina totalmente la grasa destrenzando cada cable para poder trabajar con mayor eficacia en la eliminación de la grasa; esta labor se debe efectuar en una zona preparada exclusivamente como podría ser una poza de concreto simple de carácter temporal para concentrar todos los residuos producto de la mezcla de solvente y grasa, estas soluciones deberán ser eliminadas fuera de obra para no producir contaminación.

Luego de eliminar totalmente la grasa del cable se procederá a trenzarlo nuevamente, quedando este habilitado para ser parte de la estructura del bulbo.

En la zona de transición del tramo libre, es decir donde empieza el envainado del cable deberá estar sellado, para evitar la entrada de lechada de cemento entre la vaina y el cable durante la inyección del anclaje (ver foto).



Fotografía N° 24 Zona de transición entre el bulbo y el tramo libre.

El montaje del anclaje requerirá mano de obra calificada que asegure la calidad del trabajo final, a continuación daremos los procedimientos a seguir en el **montaje de este sistema en particular:**

- 1) se preparará la tubería de inyección de PVC, que quedara dentro del anclaje, la tubería tendrá la longitud del anclaje; la única función del tubo de FVC, es solo de conducción de la lechada de cemento.

2) Instalada la tubería de inyección de PVC, se continuara con el montaje colocando los cables de acero previamente preparados, estos cables deberán ser montados sobre los espaciadores internos que permitirán que el grupo de g cables rodee a la tubería de inyección, formando un tendón único. El espaciamiento de los centralizadores y espaciadores es de aproximadamente 1.5 m, los cuales permiten la conformación de una estructura única, estos cables luego son atortolados entre sí con alambre de construcción.

3) Concluida la conformación del tendón, se procederá a forrar este con el tubo corrugado, en toda su longitud.

4) Finalmente sobre el tubo corrugado se colocaran nuevamente espaciadores y centralizadores externos espaciados a 1.5 m

1.3.12 INSTALACIÓN DE ANCLAJES

Se puede usar cualquier método que provea seguridad, para que el anclaje sea instalado en forma controlada y segura. Antes de la introducción del anclaje en el agujero, este debe de haber pasado satisfactoriamente la prueba de agua a presión, el agujero deberá ser lavado con una mezcla de aire y agua para expulsar los detritos que pudieren haber quedado que puedan perjudicar la adherencia u obstruir la introducción del elemento.

Generalmente cuando se trabaja en la instalación de anclajes, el frente de trabajo es reducido dentro de la plataforma de perforación los trabajos de perforación son paralelos con los trabajos de montaje e instalación; por consiguiente cuando se requiera instalar un anclaje se recomienda paralizar toda actividad de perforación, con la finalidad de tener a disposición a todo el personal para el transporte del anclaje al sitio de instalación.

La introducción del anclaje dentro del agujero deberá efectuarse con mucho cuidado, para lo cual se tomarán las precauciones necesarias a fin de no dañar la estructura del anclaje. El proceso de introducción deberá ser lento, para poder vencer eventuales obstrucciones en la pared del barreno. Es preciso que exista una

buena coordinación de manipuleo, ya que la estructura es pesada y el personal obrero deberá mantener un ritmo de empuje dentro del barreno.

Este sistema de anclaje por cables es un sistema flexible y ligero, comparado con los anclajes de barra, permitiendo que anclajes de longitudes muy grandes (mas de 40 m) puedan ser instaladas empleando solo el esfuerzo de hombres; ubicando hombres a cada 2 m pueden transportar el anclaje desde la plataforma de montaje hacia el agujero perforado que alojara al anclaje, también se puede recurrir al transporte mecánico, a través de carretas, correas transportadoras, o cualquier otro medio de transporte que ofrezca superficies planas y largas; por eso es recomendable ubicar las bancadas de montaje muy cerca de la zona de instalación.

Es preciso indicar que de acuerdo a la experiencia en algunos casos hay problemas de obstrucción durante la introducción del anclaje, ya que la superficie del agujero no es lisa y uniforme, y se recomienda no esforzar la introducción en el caso de atoro, es preferible retirar el anclaje y revisar que la funda corrugada de PVC no haya sufrido alguna rotura; luego de verificar esto nuevamente se procederá a introducir y buscar otra posición que permita el deslizamiento del anclaje dentro del barreno.

1.3.13 Inyección de Anclajes

Una vez instalado el anclaje dentro del agujero, se procede a la inyección del anclaje. La inyección comprende del llenado con lechada de cemento la parte interior y exterior del tubo corrugado del anclaje de tal manera de producir un encapsulamiento dentro del agujero perforado y formar el bulbo.

La inyección de este tipo de anclaje es en una sola etapa, es decir, llenando al mismo tiempo el tramo del bulbo y del tramo libre.

La inyección del anclaje se ejecutará utilizando una estación de bombeo similar a la utilizada para las inyecciones de consolidación, además de los accesorios.

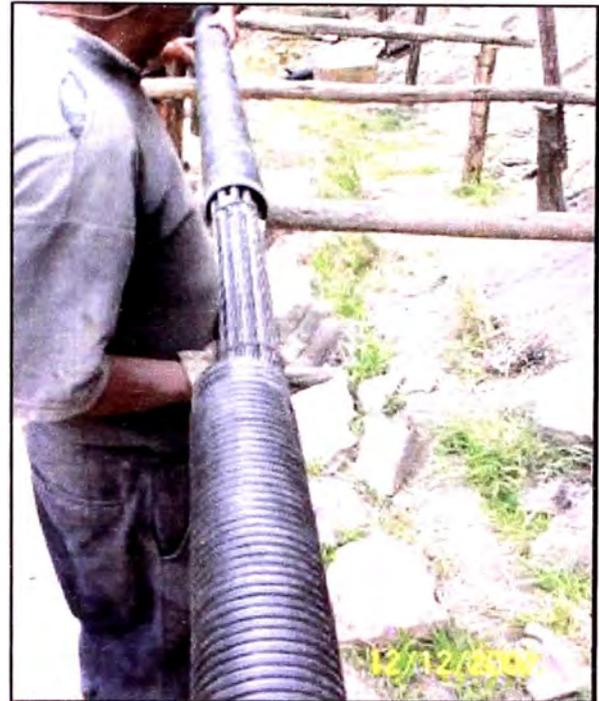
La calidad de la lechada según recomendaciones del PTI deberá de proveer una fuerza mínima de 27 Mpa (3000 psi) antes del tensado; para lograr esto se utilizara lechadas con una relación agua cemento de 0.4 a 0.45 por peso con cemento.

La inyección se ejecutará desde la boca, instalando el sistema de mangueras de alta presión a la tubería de 1" de PVC del anclaje, una vez instalado, se colocaran 2 tubos espaguetis en el espacio anular entre el anclaje y la perforación, para luego ser sellado el espacio anular con una mezcla de yeso cemento (diablo fuerte), esto con la finalidad de permitir que por ambos espaguetis se elimine el aire dentro del anclaje y luego por los mismos retornara la lechada, lo que garantizara una inyección satisfactoria.

La inyección será finalizada cuando el retorno de lechada tenga la consistencia de la mezcla original, se menciona esto porque generalmente durante la inyección hay eliminación de agua que se acumula en el fondo del taladro, entonces la lechada de inyección desplaza por mayor densidad al agua provocando una mezcla de relación A/C mayor a la del empotramiento, es por eso que se recomienda chequear la consistencia de la lechada en la boca del anclaje.



Fotografía N° 25.- Bulbo.



Fotografía N° 27.- Forrando con tubo corrugado el tramo del bulbo.

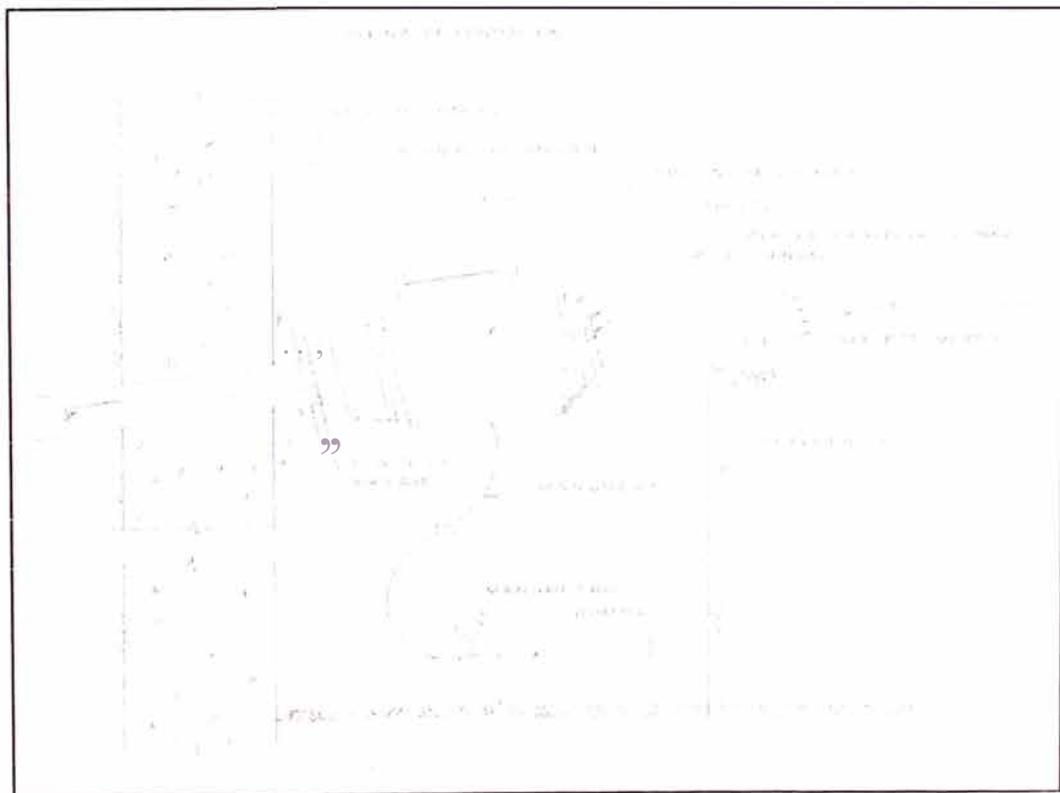


Fotografía N° 26.- Montaje.



Fotografía N° 28.- Anclajes instalados e inyectados.

Esquema N° 1.- Montaje para Tensado de Anclajes en Muro Pantalla (Fuente Propia)



Instalación del cabezal

A continuación se mencionarán los pasos a seguir para la instalación del cabezal del anclaje.

1. Se insertará a aproximadamente 15 cm. de la cara externa del bloque de transferencia y sobre la funda corrugada dos sellos de neopreno en forma de anillo ("O" **RING SEAL** de 1/1 ") para separar la zona de enlechado y la zona que ira rellena de grasa anticorrosiva.

2. Sobre esto se instalará una "trompeta" que esta conformada por la placa de apoyo de 280x280mm, e= 25.4mm y un tubo de acero de 5" SCH 40 soldada a la placa de apoyo, que ira entre el "O" RING y la tubería de PVC 6" que esta embebida en el bloque de transferencia.

3. Se completará la inyección para llenar los posibles vacíos que hubiere entre el "O" **RING SEAL** y el bloque de transferencia, para esto utilizaremos los espaguetis embebidos que se dejaron con este fin.

4. A continuación se colocará una masa epóxica entre la placa de apoyo y la cara del bloque de transferencia con la finalidad de fijar las placas de apoyo con un mortero predosificado (Sika grout 212). Debemos mencionar que es necesario prepara la superficie del bloque de transferencia en el área de la placa donde el mortero se ha de adherir.

5. Se debe de fijar la placa de apoyo buscando que exista perpendicularidad entre la placa y el anclaje, encofrar o sellar las partes inferiores y verticales de las aristas de la placa de apoyo.

6. Realizar la limpieza total del área donde se va a aplicar, y verter o llenar el grout en la zona prevista, para lo cual debe de calcularse el volumen a aplicarse, los resultados promedios de colocación de Sika Grout por cada anclaje esta en el orden de 3.42 litros o 4.75 Kilogramos para las dimensiones de la placa de apoyo.

7. Seguidamente colocamos las calzas y el cabezal roscado tipo macho, previo a esto se ha retirado la protección de la funda de polietileno de los cables de acero de la superficie. Se debe de dejar una longitud de aprox. 1.5 a 2 m de cable que sobre al cabezal, para que al momento del tensado el pistón del gato hidráulico tenga carrera para el deslizamiento, una vez instalado el cabezal colocamos los clavetes tipo cuña para proceder luego al tensado una vez se cumplan las condiciones.

1.3.13 CONTROL DE CALIDAD

En obra se deberá de manejar y almacenar los materiales y el equipo de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes y de forma que estén protegidos contra daños y deterioro.

Los materiales que serán directos involucrados para formar parte del anclaje deben de ser almacenados sobre bloques o plataformas para que no estén en contacto con el suelo y deberán ser cubiertos para su protección contra el agua de las lluvias.

Se debe de disponer de un área especial para el almacenamiento de las bobinas de cables y tuberías corrugadas, donde no exista circulación de personal para evitar en lo mínimo el deterioro de estos.

Una recomendación muy importante para el control de la calidad en el montaje del anclaje es verificar que no existan fisuras en la protección de polietileno en el tramo libre de los cables, es muy común que por el manipuleo durante el transporte la protección sufra deterioro, es por eso que es preciso revisar minuciosamente todo los cables; en el caso de encontrar fisuras pequeñas de menos de 75 mm de diámetro, serán necesario reparar en el campo con cinta autovulcanizante u otro sistema similar, las cuales deberán llegar mas allá del área dañada por un mínimo de 50 mm. El mismo caso se aplicará para la protección de tubo corrugado, todos los anclajes con la protección contra la corrosión dañada por más de 75 mm de tamaño serán rechazados y el anclaje será reemplazado.

En el momento de la instalación, los anclajes estarán limpios y libres de todo material perjudicial, incluyendo tierra, grasa, aceite y pintura.

1.3.14 Tensado

El tensado es el ensayo mecánico de traccionamiento del anclaje en ciclos sucesivos, ejecutados con un gato hidráulico, con la finalidad de verificar su capacidad de carga y deformación; Además, el objetivo principal de esta etapa del proceso de sostenimiento es el de incorporar la carga de trabajo en el elemento; esta operación de tensado se realiza como un medio de control de la resistencia del anclaje y poder obtener información para el análisis y evaluación de las cargas de servicio en los elementos; además de verificar la validez e hipótesis admitidas en el proyecto . .

Cuando se ejecuta el tensado debemos de tomar en cuenta los conceptos de resistencia de materiales, en este caso referente al acero.

Entonces;

$\sigma = \frac{P}{A}$ (Donde la constante de proporcionalidad es el módulo de elasticidad)

Luego:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad y \quad \delta = L$$

$$\frac{P}{A} = E \frac{\delta}{L} \quad \delta = \frac{PL}{EA}$$

- $\delta \rightarrow$ Deformación total
- $P \rightarrow$ Fuerza aplicada
- $L \rightarrow$ Longitud del acero (tramo libre+ cabeza)
- $A \rightarrow$ Area de la sección recta
- $E \rightarrow$ Módulo de elasticidad

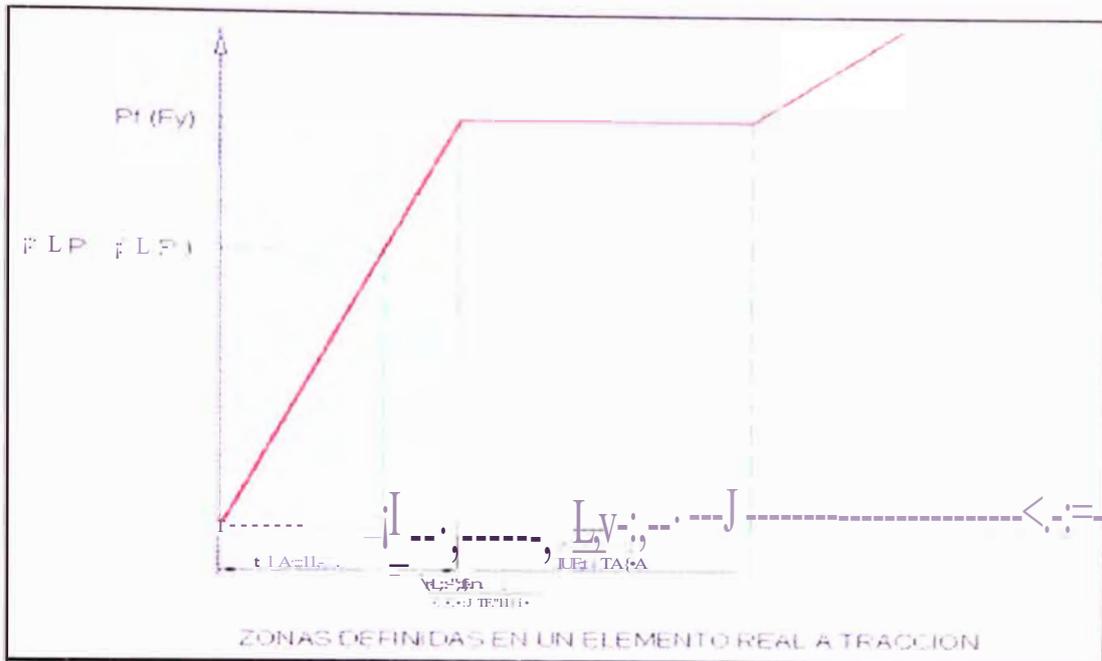


Figura N° 11.- Montaje para Tensado de Anclajes en Muro Pantalla (Fuente Propia)

De acuerdo a la figura N° 11, la deformación que ocurre antes del punto de fluencia, se conoce como deformación elástica; la deformación que ocurre después del punto de fluencia sin incremento en el esfuerzo, se conoce como deformación plástica; esta última deformación es una reserva del acero que le permite resistir sobrecargas; si no tuviera esta capacidad el cable de acero podría romperse bruscamente.

Pero en el comportamiento real de un elemento en tracción se observa que el espécimen deja de tener un comportamiento elástico a un esfuerzo: $F < F_v$, debido ya sea a la presencia de esfuerzos residuales o a cualquier excentricidad de las siguientes zonas: Elástica, Plástica Contenida (Elasto-Plástica) y Plástica Ilimitada. Por eso el PTI lleva este concepto en sus recomendaciones, ampliando el concepto de una carga de seguridad y englobar en aquella que, aun produciendo deformaciones grandes respecto de las deformaciones elásticas, no lleguen a producir el colapso del elemento. Esta se llama carga límite, que es la máxima que puede aplicarse a un elemento antes que empiece el colapso.

El sistema a utilizar para el tensado es para multicables, estos permiten que todos los cables del anclaje sean tensados simultáneamente y cada uno reciba la misma carga.

1. CARGA DE DISEÑO

Los criterios establecidos por el PTI - Post Tensioning Institute limitan a las pruebas de calificación (performance test) del anclaje a una carga no mayor de 80% de la carga de ruptura (P_u).

También define que la prueba de performance tiene una carga máxima de 1.33 sobre la carga de diseño (P).

Estos criterios son aquellos previstos por el PTI. Otras normas internacionales presentan criterios un poco diferentes, pues consideran la carga de fluencia como límites y no la carga de ruptura como señala los procedimientos recomendados por PTI.

Cuando hemos descrito las características generales de estos anclajes queremos dejar en claro que no es un único sistema de anclaje con determinado número de cables, estos varían de acuerdo a la necesidad de cada proyecto.

2 LONGITUD DE BULBO DEL ANCLAJE

Según las recomendaciones del Post-Tensioning Institute (PTI), la longitud de bulbo se puede estimar mediante la siguiente ecuación:

$$L_B = \frac{P}{f_r d r w}$$

Donde:

L_B : Longitud de Bulbo (m)

P Carga de diseño del anclaje (Kg.)

f_r Resistencia

d diámetro de la perforación (m)

w Esfuerzo de trabajo a lo largo del contacto roca-lechada.

La longitud del bulbo deberá ser confirmada por el ensayo de Comportamiento.

EQUIPOS DE TENSADO

Para la ejecución del tensado los equipos deberán ser capaces de tensar el anclaje completo en una sola etapa, es decir, tensar el conjunto de cables simultáneamente transfiriendo las cargas uniformemente a cada uno de ellos.

Los equipos de tensado en conjunto tendrán que permitir que el anclaje sea tensado en etapas de incrementos de carga, es decir, que pueda levantar la carga o disminuirla de acuerdo con las especificaciones de los ensayos, y permitir que el anclaje pueda ser ensayado con un Lift off (carga de levantamiento) y comprobar la carga de cierre.

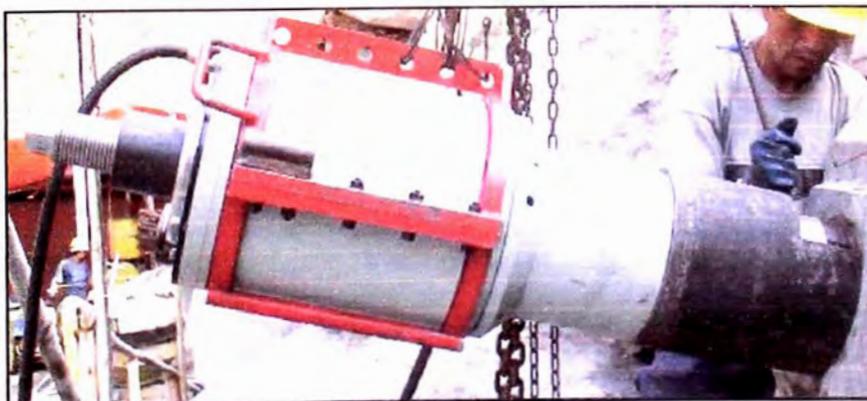
Para los trabajos de tensado se recomienda que el gato hidráulico haya sido recientemente calibrado, se deberá de contar con el certificado de calibración y una gráfica de esta, para disponer en el sitio de ensayos.

La operación de tensado involucra para su ejecución el empleo de los siguientes equipos.

I Gato Hidráulico

Es un dispositivo que es capaz de tensar uniforme y simultáneamente todos los cables del anclaje, los cuales son fijados en la parte externa del cuerpo del gato, a través de un encuñamiento adecuado.

Todos los sistemas utilizan la fuerza hidráulica, la gran mayoría de los gatos de pretensados presentan un orificio central por donde pasan los cables. Lógicamente la capacidad de cada gato estará en función del número de cables a ser tensados, cuyas capacidades varían entre 30 a 300 toneladas, con pesos entre los 20 kg a 400 kg.



Fotografía N° 29.- Gato hidráulico de tensado.

Está constituido básicamente por tres piezas totalmente independientes entre sí, como son el pie del gato, cuerpo del gato con orificio central y cabeza de sujeción de los cables; la división en tres componentes separados tiene las siguientes ventajas en cuanto a su uso:

- Manejo de piezas mas leves que el total del gato para su instalación;
- Mayor facilidad para introducir los cables en los orificios del pie del gato;
- Posibilidad de pretensar en espacios reducidísimos; La única pieza que trabaja colgada en un soporte es el cuerpo del gato;
- El paso de los cordones es facilitado por el orificio central de gran diámetro.

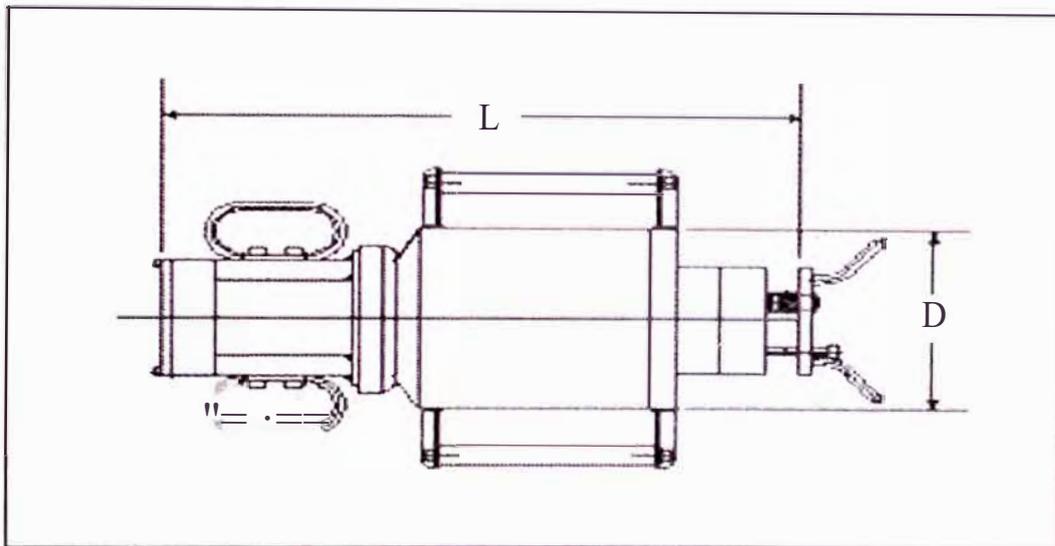


Figura N° 12.- Dimensiones a considerar en un gato hidráulico.

Datos técnicos

Tipos de gato	longitud L mm	Diámetro D mm	Carre, a mm	Area de piston cm ²	Fuerza kN	Peso kg
1100 Mp	770	761	110	737	1200	81
1500 Mp	870	336	220	2014	1500	125
2600 Mp	785	370	250	3118	2946	170

Cuadro N° 6.- Datos técnicos del gato ref. Fig. N° 39 (OSI - Systems)

11. Manómetro

La mayoría de los gatos se accionan hidráulicamente, este puede ser hecho manualmente, a través de una bomba de pistón, accionada por una palanca de brazo larga que aplica presiones que pueden ser elevadas y a su vez pueden producir fuerzas también razonablemente elevadas.

En el caso de la aplicación de grandes cargas las bombas son accionadas mecánicamente, o por motor eléctrico o de explosión, en esos casos los equipos tienen en general, controles y registradores automáticos, además de disponer de circuitos múltiples que pueden cargar o descargar un gato a varios gatos al mismo tiempo.

La carga aplicada es comprobada mediante el control de la presión en el aceite, o por celdas de carga; en el primer caso, se utiliza un manómetro que, en general, está colocado al lado de la bomba en el cual la presión AS leída y la carga calculada o evaluada con auxilio de una curva de calibración del sistema gato-manómetro.

En el segundo caso una celda de carga es colocada entre la placa de apoyo y el gato, el registro de carga es hecho indirectamente por medio de sensores.

Siempre es posible colocar para fines de comparación un segundo manómetro al lado del principal. La bomba deberá ser capaz de aplicar cada incremento de carga en menos de 60 segundos. El dial del manómetro deberá tener graduaciones no mayores de 0.7 APA (100 pis).

111. Micrómetros/ Reglas para Desplazamientos

Sirven para realizar las mediciones de los desplazamientos tanto de los cordones como de la estructura de apoyo, cabe indicar que los métodos de medida son de los más variables, el más simple de ellos es la medida con regla del desplazamiento del pistón del gato usado en el ensayo.

Los métodos más complejos son aquellos en que las medidas de deformaciones del acero y del hundimiento de la estructura de apoyo o de reacción son hechas a partir de referencias externas, fijas, no sujetas a movimiento. En estos

casos, son empleadas vigas de referencias y micrómetros de precisión (usualmente con lecturas hasta de 0.01 mm), o instrumentos ópticos de precisión.

Estos instrumentos de precisión deberán de tener suficiente carrera para registrar el movimiento total del anclaje durante los ensayos, sin la necesidad de restaurar con un punto arbitrario de referencia.

Esfuerzos en los clavetes del cabezal

Las fuerzas aplicadas en cada cable después del ensayo de tensado, son mantenidas por un sistema de cuñas o comúnmente llamados "clavetes", estos clavetes son instalados en cada cable, asegurando el cable al cabezal roscado.

La superficie del clavete que entra en contacto con el cable está provista de dientes, los cuales tienen sentido contrario a la aplicación de la fuerza, ejerciendo esfuerzos en cada cable.

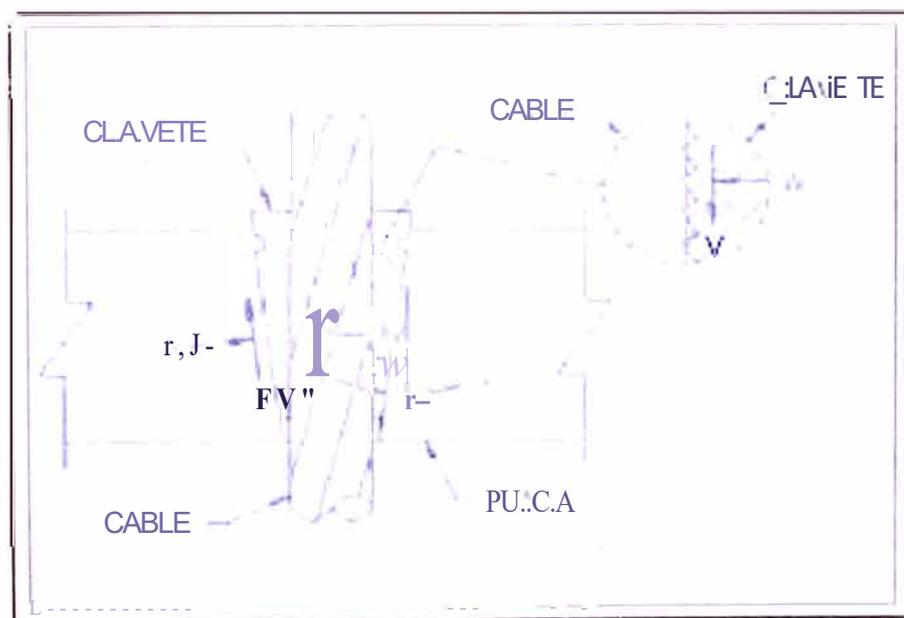


Figura Nº 13.- Fuerzas actuantes en el cable - zona del cabezal (OSI Systems)

Para asegurar que la superficie dentada se mantenga inalterada durante la vida de servicio y, por consiguiente, no haya decrecimiento de las cargas aplicadas al anclaje, se utilizan ahora los sistemas retensables (cuando la exigencia lo requiera), de tal manera que los ajustes de carga sean hechos adicionando o quitando calzas.

Esto es importante cuando las cargas del anclaje probablemente se incrementen con el paso del tiempo con cargas externas o actividades dinámicas.

REQUERIMIENTOS DURANTE EL TENSADO

El tensado comprende la ejecución de los siguientes ensayos:

- (a) Performance test
- (b) Proof test

Cada anclaje será ensayado de acuerdo con los procedimientos establecidos en el PTI, pero si el anclaje es instalado en terreno que puede ser susceptible a fallas por deslizamiento, entonces el Performance test puede ser extendido **a un ensayo de Creep test.**

Los ensayos pueden hacerse simultáneamente para todos los anclajes o uno por uno, en la práctica se recomienda hacerlos uno por uno, solo se podrían hacer estos ensayos en forma simultánea, si existiera el suficiente equipamiento, instrumentación y supervisión en el lugar para recopilar los datos de cada anclaje.

Los ensayos de anclajes en forma simultánea para investigar posibles interacciones entre ellos puede ser practicable, pero es raramente aplicable por razones prácticas, especialmente si los anclajes están espaciados a una misma distancia o si están a menos de 1.2 m (recomendaciones del PTI).

Antes de iniciar con los ensayos en si, se debe de planificar las etapas previas al registro de los datos del ensayo, es decir, debemos de conocer primero como es el montaje del gato, la bomba y los instrumentos de medida.

El equipo, la secuencia de tensado y los procedimientos deben ser determinados en la planificación del proyecto.

A continuación se mencionará las secuencias:

1.- Antes de colocar el gato sobre el cabezal del anclaje, los cables deberán estar sin la protección de polietileno, y si es posible deberán de enumerarse a fin de no confundirlos en el momento de colocar el adaptador que viene con el gato hidráulico.

2.- En este caso se trata de un gato hidráulico que requerirá la ayuda de un tecele para poder montarlo sobre la cabeza del anclaje; una vez colocado sobre el cabezal y haber pasado los cables por el centro del gato, colocar los clavetes en cada cable y colocar el adaptador en la cabeza de sujeción, haciendo pasar cada cable por cada orificio del adaptador (el adaptador debe de tener la misma forma de un centralizador).

3.- Colocar los clavetes de tensado, estos clavetes servirán para ajustar los cables al adaptador solo en la operación de tensado, luego del tensado serán retirados y los únicos que servirán de ajuste serán los clavetes que se instalaron en el paso 2.

4.- Instalar uno o dos micrómetros (pie de rey) que puedan medir el desplazamiento del pistón del gato, en los laterales del gato, estos pueden ser acoplados de tal forma que registren automáticamente el movimiento.

5.- Conectar la bomba al gato a través de las mangueras de presión como indican los manuales de operación de cada fabricante *CE* equipos.

6.- Aplicar una carga de alineamiento al anclaje la cual puede variar entre 5 hasta 25% de la carga de diseño, pero lo más común es usar un 10%. Esta carga es usada para asegurar todos los componentes durante el tensado y para asegurar que el movimiento residual sea determinado precisa y consistentemente durante la descarga.

7.- Ejecutar el ensayo de carga que le corresponda, luego llevar a la carga de cierre (Lock off) y colocar los clavetes, ajustándolos con golpes al cabezal roscado retensable.

8.- Ejecutar una prueba de lift off, descargar el sistema y retirar el gato.

a.- Performance test

Este ensayo también conocido como **ensayo de comportamiento**, se realiza mediante incrementos de carga y descarga, cíclicamente, de acuerdo con el gráfico que se muestra.

Toda descarga se realizará hasta la carga de alineamiento, luego de llegar al máximo en cada ciclo. Se registrará con precisión el movimiento al llegar a cada carga de alineamiento. En cada incremento de carga, el movimiento de la cabeza del gato será registrado con respecto a un punto de referencia fijo e independiente.

La carga será mantenida lo suficiente para realizar la lectura, pero no más de 1 minuto.

Al llegar a la carga de ensayo, se mantendrá la carga por 10 minutos. En este lapso, las lecturas del movimiento se tomarán a 1,2,3,4,5,6 y 10 minutos. Si el desplazamiento total entre 1 y 10 minutos excede a 1 mm, la carga deberá mantenerse por 50 minutos adicionales. Los movimientos, en este caso, se leerán a 20, 30, 40, 50 y 60 segundos (Creep test).

Durante los tiempos de carga sostenida, no se permitirá variaciones mayores que 0.35 Mpa (50 psi) en el manómetro. La carga deberá ser la carga de ensayo antes de cada lectura.

Este ensayo es usado para determinar:

- Si el anclaje tiene suficiente capacidad para transmitir carga.
- Que la aparente longitud libre del tendón ha estado satisfactoriamente estable.
- La magnitud del movimiento residual.
- Que la velocidad de deslizamiento (**creep**) esta dentro de los limites especificados.

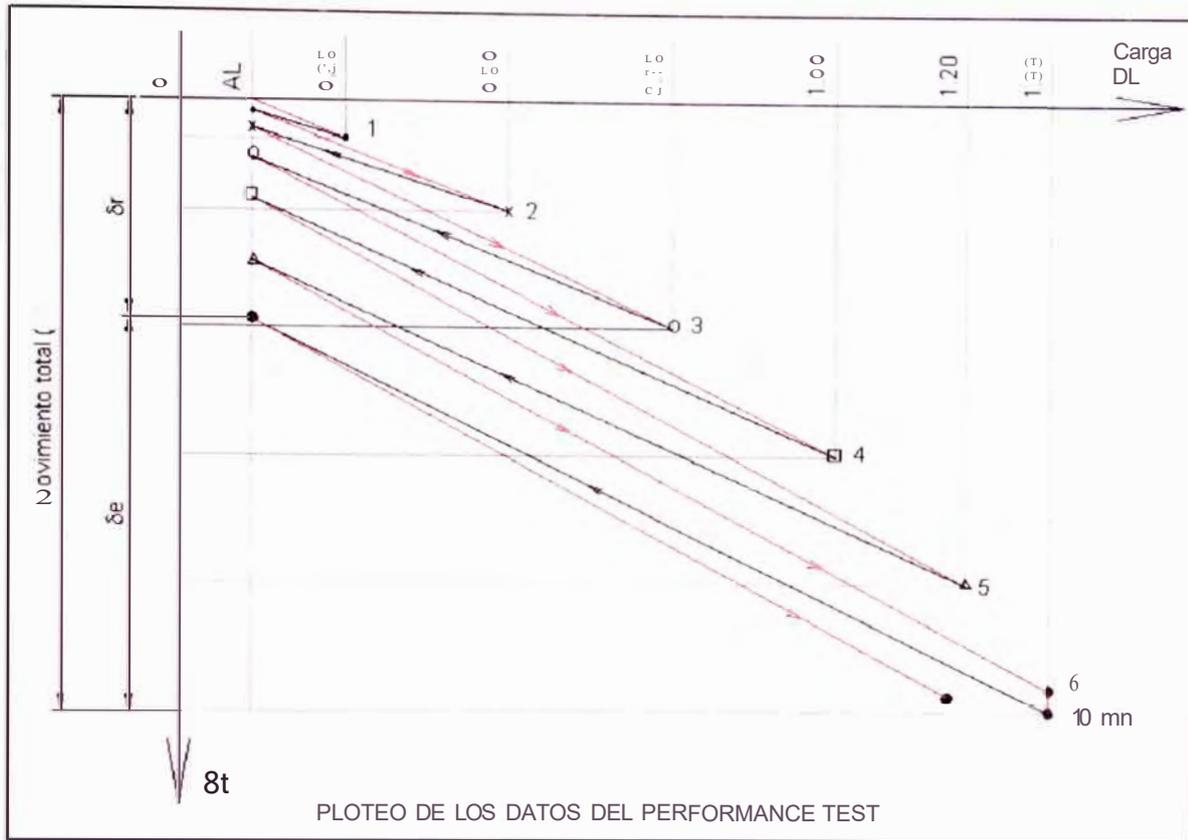


Figura N° 14.- Gráfico de los datos para el ensayo del Performance (Fuente Propia).

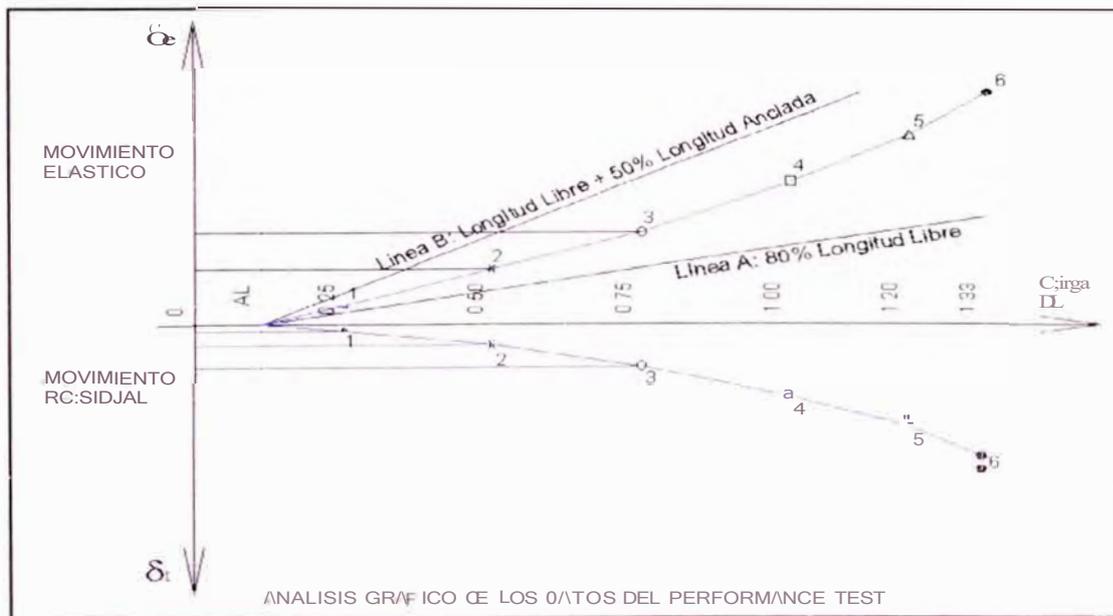


Figura N° 15.-Análisis Gráfico para el ensayo de Performance (Fuente Propia).

Debemos de saber que el número de ensayos de capacidad deberán ser aproximadamente al 5% del total del número de anclajes a instalar (según recomendaciones del PTI), estos ensayos estarán en función a la aplicación del sistema de sostenimiento, típicamente de uno a tres ensayos pueden ser hechos cuando los anclajes estén emplazados en diferentes condiciones de terreno (PTI).

Analizando pues los conceptos de resistencia de materiales antes mencionados, podemos verificar la longitud del tendón aparente de ensayo, para cada carga máxima (carga de ensayo), de la siguiente relación:

$$\text{Longitud aparente} = \frac{At Es \epsilon_e}{P}$$

At = Sección transversal del tendón

Es = Módulo de elasticidad del acero pretensado

ϵ_e = Movimiento elástico

$P = TL - AL$

TL = Carga de ensayo

AL = Carga de alineamiento

b.- Proof test

El ensayo también conocido como **ensayo de comprobación**, será realizado al resto de los anclajes sin excepción; incrementando la carga del anclaje hasta llegar a la carga de prueba (80% de la carga de rotura), cada incremento de carga será mantenido lo suficiente para tomar la lectura, pero no más de un minuto.

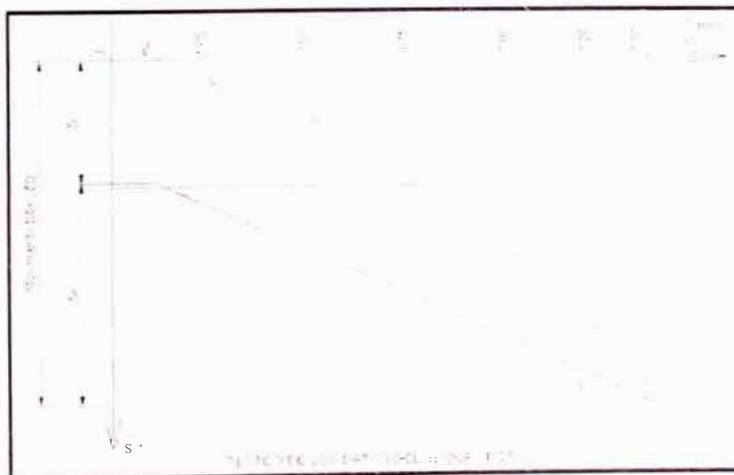


Figura Nº 16.- Gráfico de los datos para el ensayo del Proof.
(Fuente Propia).

Al llegar a la carga de ensayo, se mantendrá por 10 minutos. Los movimientos se registrarán a 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 10 minutos. Si el desplazamiento total entre 1 y 10 minutos excede 1 mm, la carga será mantenida por 50 minutos adicionales. Los movimientos totales deberán ser registrados a 20, 30, 40, 50, y 60 minutos. Durante los periodos de carga sostenida, no se permitirá variaciones mayores a 0.35 Mpa (50 psi). La carga deberá ser la carga de ensayo antes de cada lectura (Creep testy).

Este ensayo es usado para determinar rápida y económicamente:

- Si el anclaje tiene suficiente capacidad para transmitir carga.
- Que la aparente longitud libre del tendón ha estado satisfactoriamente estable.
- Que la velocidad de deslizamiento (creep) esta dentro de los limites especificados.

Generalmente para extender a un ensayo de Creep en roca sería demasiado extremo, salvo el caso que nos encontremos en un material de poca descompuesta, en donde se pueden presentar conductas significantes de este tipo; pero el procedimiento para un ensayo Creep es como se describió en los dos ensayos anteriores.

Lock Off (Carga de Cierre)

Es la carga a la cual se lleva al anclaje para ejecutar el claveteo al cabezal roscado retensable; la magnitud de esta carga puede estar especificada por el proyecto, pero esta según recomendaciones del PTI no deberá de exceder el 70% de la carga de rotura del conjunto (tendón).

Los clavetes deberán proporcionar en el momento del ajuste la seguridad de mantener la carga del anclaje a un mínimo de 50% de la carga de rotura, si la carga de cierre es menor del 50%, entonces se usaran mas calzas por debajo del cabezal retensable, hasta llegar al 50% como mínimo, pero ya no se volverán a tocar o ajustar los clavetes. Así como se adicionaron las calzas, también se pueden reducir, para disminuir la carga en el anclaje.

Lift Off (Carga de Levantamiento)

Después de transferir la carga al anclaje, y previo al desmontaje del gato de tensado, un ensayo de lift off, puede ser realizado para confirmar la magnitud de la carga en el tendón. Esta carga es determinada por la re-aplicación de carga en el tendón, pero ya no jalando los cables, si no ahora jalando el cabezal retensable.

Esta carga se comprueba cuando la carga aplicada por el gato hidráulico es igual o mayor que la carga actuante en ese instante en el tendón, entonces como prueba a ello hay dos formas de saber que se llegó a esa carga:

1. Cuando se aflojan las calzas que están por debajo del cabezal retensable; apenas observemos el mínimo desplazamiento de una de las calzas tomaremos lectura en el dial del manómetro y registraremos la carga, la cual será la carga de lift off.

Al aplicar carga al anclaje, nos daremos cuenta que el incremento de carga en el manómetro es rápida, sin esfuerzos, y sin deformación considerable del tendón, luego; cuando en el sistema bomba-manómetro se registre una disminución en la velocidad del manómetro, se siente un aumento considerable de los esfuerzos y en el desplazamiento, será el momento de registrar la carga, la cual deberá mover las calzas; además se tomaran lecturas de fuerza y desplazamiento para plotearlos en un grafico y comprobar mediante esta forma adicional la carga de lift off. Este ultimo criterio se toma cuando se presentan problemas cuando se ensayan anclajes de barra los cuales poseen como ajuste una tuerca, esta muchas veces con el paso del tiempo suele pegarse a la placa de apoyo y en ocasiones no se mueve y es difícil comprobar la carga actuante.

1.3.15 Criterio de Aceptación de un Anclaje

El criterio de aceptación esta supeditado a satisfacción de los siguientes factores:

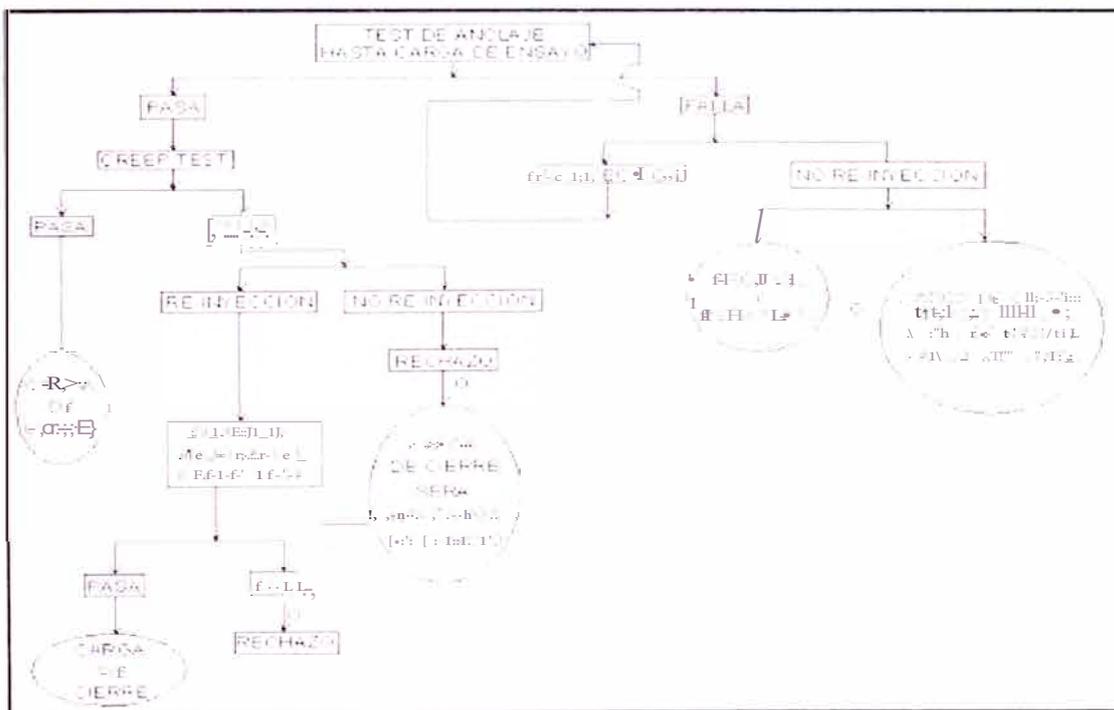
- Creep
- Movimiento

La velocidad del deslizamiento no deberá de exceder en 1 mm (0.040 pulg) en el test de carga durante el periodo comprendido entre el 1er y 10avo minutos. Si este valor es excedido, luego el total movimiento de deslizamiento dentro del periodo de 6 a 60 minutos no deberá exceder en 2 mm (0.080 pulg).

El creep test intenta determinar el deslizamiento en el bulbo a través del terreno. En el caso de que ensayo creep no cumpla con lo establecido, se tendrán dos posibilidades:

Primero. Se podrá reinyectar en el anclaje utilizando los procedimientos establecidos, se esperara el tiempo mínimo de resistencia para la lechada de cemento y se ejecutará nuevamente la prueba de creep; si pasa esta prueba se llevara a la carga de cierre del anclaje; pero si falla se rechazara el anclaje o se tensara hasta una carga de cierre que será el 50% de la carga de ensayo.

Segundo. No se tocara el anclaje, se rechazará el anclaje o se tensará hasta una carga de cierre que será el 50% de la carga de ensayo .



Esquema N° 2.- Diagrama de flujo para la aceptación del ensayo de tensado (Fuente PTI).

2) Movimiento

Bajo este criterio el anclaje será aceptado si el movimiento elástico total, resultado de restar el movimiento residual al movimiento total registrado, excede al 80% de la elongación elástica teórica de la longitud libre del anclaje. A la vez, dicho movimiento elástico total, deberá ser menor que la elongación elástica teórica de la longitud libre aumentada por el 50% de la longitud del bulbo del anclaje.

Como se mostró en los gráficos anteriores, se elaboran curvas que servirán como límites para establecer los criterios de aceptación por movimiento, siendo las ecuaciones de las curvas las siguientes:

$$s_A = P_x \frac{OSL}{EA} \quad \text{Curva limite inferior} \quad K \quad \text{Linea A}$$

$$s_B = P_x \frac{(OSLb + L)}{EA} \quad \text{Curva limite superior} \quad \leq K \quad \text{Linea B}$$

Bajo estos criterios la curva del movimiento elástico total elaborado con los datos de campo del ensayo respectivo deberá estar dentro de estos límites.

CAPITULO 11. INFORMACION TECNICA PANTALLA ANCLADA

2.1 GENERALIDADES

Al inicio del proceso de planificación del proyecto la consideración del objetivo marca las metas que se requieren para cumplir con la ejecución del sostenimiento, en base a los objetivos iremos encontrando todo lo que se requiere para poder cumplirlos, en general el objetivo del sostenimiento es el de estabilizar masas de rocas o suelos, con fines de proteger estructuras, excavaciones, centros poblados, carreteras, evitar embalses, torres de transmisión, etc., esto significa que no se deben escatimar costos para estos fines.

2.2 CONSIDERACIONES A EVALUAR DEPENDIENDO DEL TIPO DE OBRA.

En este capítulo se describirán las partidas que por lo general se presentan dentro de un proyecto de sostenimiento de esta magnitud que involucren sostenimiento de muros de contención con anclajes en roca o suelos típicos de esta zona de la selva, ya sea con barras o cables.

No es muy usual para el ingeniero civil encontrarse con actividades que por su aplicación más parecerían ser enfocadas a la parte geológica, pero ahora después de conocer el proceso constructivo podremos efectuar el planeamiento del proyecto.

Para realizar un buen planeamiento, es necesario conocer la geología del macizo a sostener, o tener el asesoramiento de un profesional relacionado con estos temas, como ejemplo podemos mencionar que no es lo mismo desarrollar trabajos en macizos de roca dura que en rocas blandas fracturadas poco competentes. Para cada tipo de material se deberán de utilizar diferentes técnicas de perforación y herramientas adecuadas; es por eso que se necesita saber el tipo de roca o suelo y las características de la zona donde se realizarán los trabajos siendo la accesibilidad para la movilización de los equipos un importante parámetro para la selección del tipo de perforación.

El presupuesto y la programación de obra podrán acercarse a lo real siempre y cuando exista un planeamiento bien definido, teniendo en cuenta con todos los

detalles que pudieran presentarse durante la concepción del proyecto. A consecuencia de lo mencionado se puede decir que para planificar una obra de este tipo se deben de tener en cuenta factores como:

- A. El objetivo de la obra.
- B. La geometría y topografía.
- C. La geología y geotecnia del macizo.
- D. El sistema constructivo.

A. El Objetivo de la Obra

Al inicio del proceso de planificación del proyecto la consideración del objetivo marca las metas que se requieren para cumplir con la ejecución del sostenimiento, en base a los objetivos iremos encontrando todo lo que se requiere para poder cumplirlos, en general el objetivo del sostenimiento es el de estabilizar masas rocosas, con fines de proteger estructuras, excavaciones, centros poblados, carreteras, evitar embalses, etc., esto significa que no se deben escatimar costos para estos fines.

B. La Geometría y Topografía

Muchas veces son factores que al no ser considerados con la debida importancia retrasan por completa la ejecución de las obras, estos factores deben de considerarse para planificar las obras preliminares, sistemas de acarreo de materiales y equipos, plataformas de perforación, caminos de accesos. Es muy importante para poder establecer la secuencia de trabajos.

Aquí podemos definir lo importante que ha sido la geometría y la topografía de la zona en lo que respecta al traslado de materiales y equipos desde el punto de acopio de los mismos hasta el punto de pie de obra, la inaccesibilidad al frente de obra debido a lo agreste y montañosa del relieve encontrado hicieron necesario crear una manera de abastecer a los frentes de trabajo, con el acarreo de materiales por personas que recorrían el camino abierto que se aperturo con el traslado inicial de equipos de trabajo a la obra.

Las personas contratadas para el acarreo de materiales y en ocasiones equipos de trabajo, fueron escogidos de la zona que tenían un mejor conocimiento del traslado

de la topografía de la zona y estaban adaptadas a los recorridos del sector y buscando de esta manera no afecten los avances del trabajo calificados en programación.

C. La Geología y Geotecnia del Macizo

Es el más importante de los factores a considerar, el estudio y conocimiento de las características geológicas y geotécnicas del macizo será determinante para decidir el sistema constructivo y los equipos a utilizar, además podremos establecer los rendimientos, recursos e insumos que se requieren para poder cumplir con el tiempo programado.

Existen muchos casos que por desconocimiento de la parte geológica fracasaron, **el tipo de roca es determinante para poder planificar el trabajo.**

Hablando del tipo de suelo del sector donde se ha trabajado, materia del presente informe, donde se encuentra presencia de estratos de arcilla, limo arenoso y el basamento rocoso de Lutita y Limonita, fracturada y intemperizada.

Aquí podemos definir a este tipo de suelo típicos de este sector, como Suelo Residual, pudiéndonos explicar en este tipo de suelo hablaremos de él y sus características para tener una idea del comportamiento de este en estabilización de suelos.

C.1 Suelo Residual

La definición de "suelo residual" varía de un país a otro pero una definición razonable podría ser la de un suelo derivado por la meteorización y descomposición de la roca in situ, el cual no ha sido transportado de su localización original (Blight, 1997). Los términos residual y tropical se usan indistintamente pero en los últimos años se está utilizando con mayor frecuencia el término residual.

Las características de los suelos residuales son muy diferentes a las de los suelos transportados. Por ejemplo, el concepto convencional de grano de suelo o tamaño de partícula es inaplicable a muchos suelos residuales, debido a que las partículas de suelo residual con frecuencia consisten en agregados o cristales de mineral meteorizado que se rompen y se vuelven progresivamente finos, si el suelo es

manipulado. Lo que parece en el sitio como una grava arenosa puede convertirse en un limo fino durante las actividades de excavación, mezclado y compactación.

Las propiedades de los suelos residuales son generalmente, controladas por la fábrica micro o macro, las juntas y demás detalles estructurales, los cuales eran parte integral de la masa de roca original y son heredados por el suelo.

La estabilidad de taludes es particularmente complicada en un medio tropical, debido a que la mayoría de los suelos son residuales, el régimen hidrológico complejo, la humedad ambiental y la temperatura muy altas, la geología compleja, la topografía escarpada y los demás factores ambientales generalmente, desfavorables.

Los suelos residuales se les encuentra predominantemente en las zonas tropicales, donde aparecen en grandes espesores y con frecuencia se les denomina como "suelos tropicales" y son escasos en las regiones no tropicales. La zona de suelos residuales se concentra en el sector norte de América del sur, Centroamérica, África, Australia, Oceanía y el sur de Asia (Figura 17).

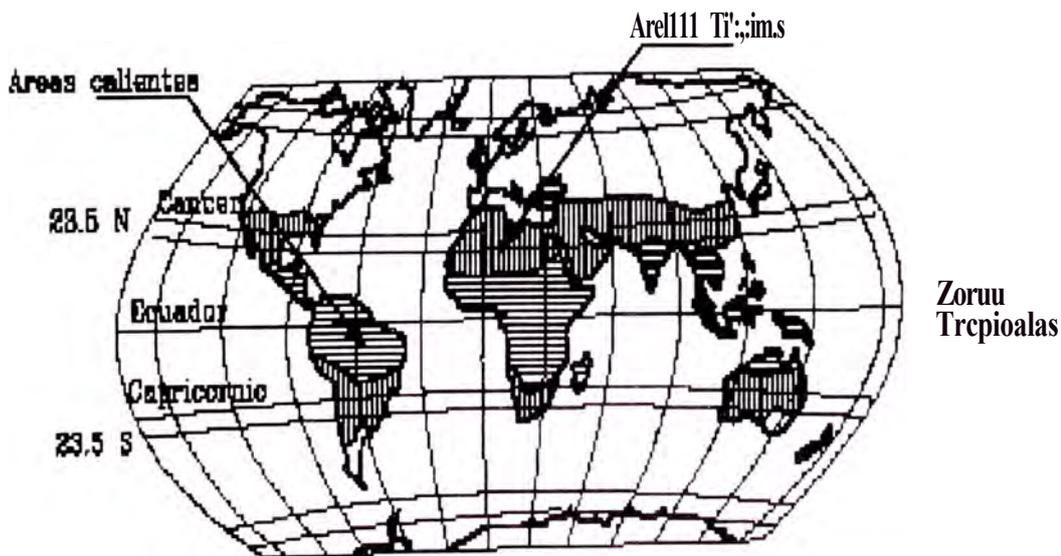


Figura Nº 17.- Localización de Zonas Tropicales

Fuente: Suelos Residuales en Zonas Tropicales; Jaime Suarez D

La mayor parte de las teorías y desarrollos en la geotécnica han tenido su origen en trabajos realizados sobre suelos en climas no tropicales, generalmente, en depósitos de suelos sedimentarios especialmente, arenas y arcillas y por lo tanto están condicionados al comportamiento de ese tipo de suelos. La aplicabilidad de las teorías y los criterios de diseño geotécnico que existen actualmente, podría no ser completamente válida en el caso de suelos residuales, debido a diferencias importantes que existen en la constitución y estructura de los suelos y de las formaciones residuales, y las de los suelos que sirvieron de modelo para el desarrollo de la mecánica de suelos tradicional.

Esta diferencia es debida principalmente, al fenómeno de la meteorización que es extenso y profundo en la mayoría de las formaciones de suelos tropicales.

Debido a la alta concentración de hierro, los suelos resultantes son de tendencia a coloración roja en el proceso más completo de meteorización y por esta razón algunos Autores los denominan como "suelos rojos tropicales".

Los suelos residuales son el producto de la meteorización en el sitio de las formaciones rocosas. También en algunas formaciones de suelos aluviales, estos han sido meteorizados en tal forma que pueden asimilarse en su comportamiento a los suelos residuales. Adicionalmente, a los suelos residuales comúnmente se les encuentra acompañados por coluviones y un gran porcentaje de los movimientos de las laderas de suelos residuales están relacionados con la inestabilidad de los coluviones (Figura 18).

El resultado es un perfil compuesto por materiales muy heterogéneos que van desde la roca sana pasando por rocas meteorizadas o "Saprolitos", hasta el "suelo" o material completamente meteorizado (Brand y Phillipson -1985) y a coluviones.

Como características de los suelos residuales pueden mencionarse las siguientes (Brand, 1985):

1. No pueden considerarse aislados del perfil de meteorización, del cual son solamente una parte componente. Para definir su comportamiento y la posibilidad de ocurrencia de deslizamientos, pueden ser más importantes las características del perfil que las propiedades del material en sí (Figura 19).

2. Son generalmente muy heterogéneos y difíciles de muestrear y ensayar.
3. Comúnmente, se encuentran en estado húmedo no saturado, lo cual representa una dificultad para evaluar su resistencia al corte.
4. Generalmente, poseen zonas de alta permeabilidad, lo que los hace muy susceptibles a cambios rápidos de humedad y saturación.

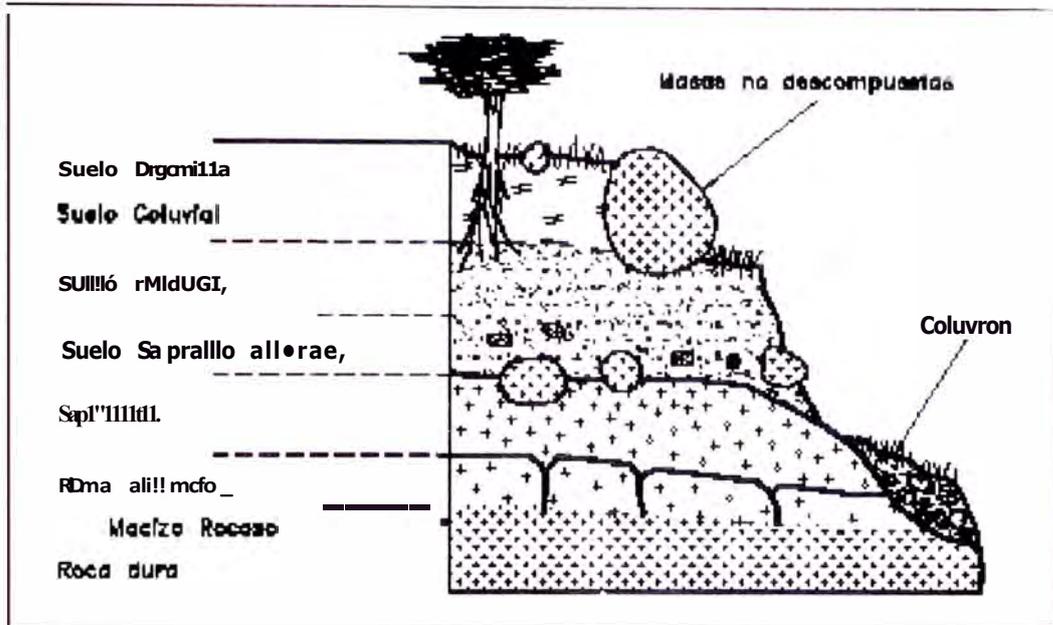


Figura N° 18.- Esquema general de una ladera en un suelo residual de granito.
 (fuente: "Deslizamiento en Suelos Tropicales". Jaime Suarez D.).

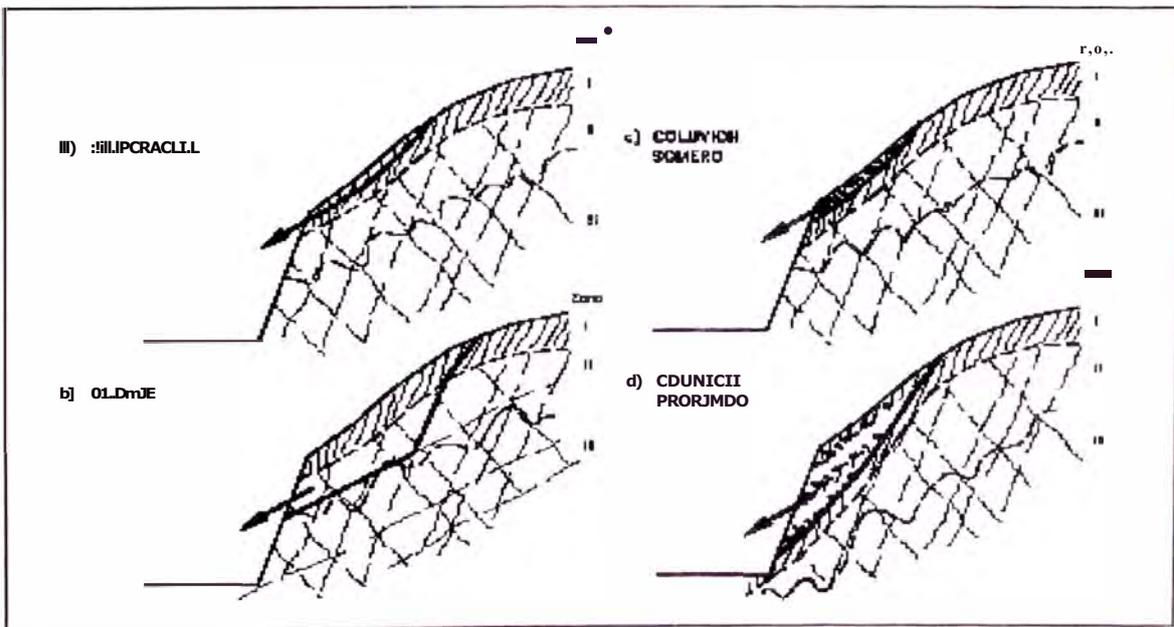


Figura N° 19.- Tipos de Deslizamientos en Suelos Residuales
 (Deere y Patton 1971)

D. El Sistema Constructivo

Teniendo claro los objetivos, tener datos topográficos y geométricos y el conocimiento geológico del macizo a sostener se puede elegir el sistema constructivo óptimo. Existen muchos sistemas constructivos, pueden ser muros con anclajes de barra o de cables, y la construcción de estos a través de perforaciones con equipos neumáticos o hidráulicos, todos se combinan y están entrelazados.

2.3 MEMORIA DESCRIPTIVA

2.3.1 Descripción Técnica

El muro anclado proyectado se ubica aproximadamente a 3 metros ladera debajo de la torre y se extiende longitudinalmente casi paralelo a las patas 2 y 3, con cotas de coronación entre 1168 y 1169 msnm.

El muro anclado de concreto armado es vertical con una altura de 4.00 m y tiene forma trapezoidal, con cerca de 25.00 m de longitud. en su base superior y aproximadamente 14 metros en su base inferior.

Los anclajes están dispuestos en tresbolillo, formando dos filas con espaciamiento horizontal de 5.00 m entre anclajes. La fila superior esta a 1.00 m de la coronación del muro y la línea inferior a 2.00 m de la superior. Todos los anclajes son del tipo definitivo, con bulbo a presión y de 30 toneladas de carga de trabajo. La fila superior esta compuesta por 5 anclajes de 14 m de longitud total cada uno; 8.00 m de longitud libre y 6.00 m de longitud anclada. La fila inferior esta compuesta por 4 anclajes de 11.00 m de longitud total; 5 m de longitud libre y 6.00 m de longitud anclada también.

Para la captación del agua superficial, están proyectadas una cuneta de drenaje en la coronación del muro y una canaleta al pie del mismo. Las aguas captadas serán conducidas y eliminadas en áreas laterales sin riesgo para la torre.

Así mismo, para la captación y drenaje de las aguas subterráneas que pueden causar empujes hidrostáticos, se ha proyectado la ejecución de drenaje profundo sub.-horizontal. Estos drenes están dispuestos según lo indican los planos y tienen

una longitud aproximada de 10.00 metros, debiendo entrar como mínimo 3.00 metros en la roca Limonita.

2.3.2 Parámetros Geológicos - Geotécnicos

Según como se indica en el Estudio, el perfil del suelo determina la presencia de un estrato superficial de arcilla de color rojo oscuro, plástica, ligeramente húmeda; consistencia media a compacta con presencia de raíces y vegetación. La arcilla esta clasificada como CL, con espesores de hasta 3.00 m de profundidad.

Subyace un estrato de arcilla color rojo oscuro, plasticidad media, húmeda a saturada, consistencia compacta con contenido de gravillas producto de la alteración de la roca Lutita.

Esta arcilla esta clasificada como CL , con espesores variables entre 1.20 a 3.00 m en algunos lugares subyace a esta capa de arcilla un estrato de limo arenoso, beige claro, húmedo, ligeramente plástico y compacto, con presencia de pintas de oxidaciones de color amarillo.

Subyace a las capas de arcilla y limo el basamento de roca lutita intercalada con limonitas compactas y areniscas. La roca se encuentra fracturada e intemperizada.

Los parámetros geomecánicos considerados para el análisis de estabilidad son los siguientes:

Material	y nat (Ton/m3)	y sat (Ton/m3)	C (Ton/m2)	ϕ (°)
Lutitas	1.80	1.90	1.00	24
Limolitas	2.00	2.10	2.00	40

2.4 PROGRAMACION DE LA OBRA.

La programación de obra esta dada en base a los rendimientos estimados presentados y al análisis de las partidas de mayor incidencia, para este caso la de mayor incidencia es la perforación rotativa. Esta partida es de mayor incidencia en cuanto a costo y tiempo, además es la que marca los tiempos de ejecución de las actividades sucesoras a esta, tal y como se refleja en el cronograma de obra que se presenta.

Según el análisis de tiempos para programación existen actividades que tienen duraciones de pocos días (por ejemplo: Montaje del anclaje) comparándolo con la perforación, es por eso que cuando presentamos estas actividades dentro del cronograma con la misma duración que la perforación solo queremos reflejar que esta actividad es paralela y se ejecutará hasta que la perforación haya concluido. (ver Anexo 01)

A continuación presentaremos un programa de obra elaborado con diagrama de barras tipo gantt, utilizando el programa Project. (ver anexoJ

2.5 PRESUPUESTO

Adjunto al informe de aplicación donde se puede observar los presupuestos detallados para la ejecución de la obra de estabilización de la torre de transmisión 103, el presupuesto asciende a US\$ 83.820,54 (ochenta y tres mil ochocientos veinte con 54/100 dólares americanos), así como el corregido a la ejecución de la obra con adicionales y deductivos que asciende a US\$ 86.361,67 (ochenta y tres mil trescientos sesenta y uno con 67/100 dólares americanos), incluido el IGV.

se adjunta al presente documento el cronograma físico para la ejecución de la obra, se ha considerado así 60 días para el termino de los trabajos correspondientes de la torre, anexando también los planos de diseño de la pantalla anclada. (Ver Anexo 01), considerando un análisis en el presupuesto propuesto, se observa como partida de incidencia en el costo total el suministro e instalación de anclajes para una determinada fuerza, para mayor entendimiento se elaboro un cuadro comparativo de costos entre los diferentes tipo de anclajes tipificados en el capítulo I (ver Anexo 02).

CAPITULO 111. APLICACIÓN CONSTRUCCION PANTALLA ANCLADA

3.1 GENERALIDADES

Paralelo a los trabajos de excavación, se iniciaron los trabajos de perforación de sondeos para la construcción de anclajes de barra, para ello se contó en obra con 02 equipos de perforación rotativa diamantina, los cuales habían sido programados para acelerar los trabajos y culminar en el plazo establecido.

A medida que los frentes de trabajo se completaban en lo referente a la perforación e instalación de anclajes, se procedió a la construcción del muro pantalla, este muro se dividió en 3 partes con la finalidad de obtener el proceso constructivo más saludable para la estabilidad del muro, los procesos constructivos de cada etapa se resumen en:

1. Perfilado de terreno
2. Estabilización de la excavación con pañeteo de mortero de cemento.
3. Colocación de acero de refuerzo
4. Encofrado.
5. Vaciado de concreto.

3.2 ETAPAS CONSTRUCTIVAS PRINCIPALES DE P. A

3.2.1 Preparación del Terreno

Esta etapa se inicia con la excavación del terreno natural en la zona en la zona de trabajos a pie de cada torre. Una vez definida la cota superior de cada muro y la cota superior de cada muro y la cota de cada uno de los anclajes, se procederá a excavar el terreno existente hasta llegar a un nivel por debajo de la cota de línea de anclajes, formando de esta manera una plataforma de trabajo sobre la cual se ubicará el equipo rotativo de perforación.

Se debe prever la conformación de una banqueta de terreno natural, es decir la excavación manual debe hacerse unos 50 cm. antes de la ubicación definitiva de la pantalla para posteriormente perfilar el terreno llegando al corte de terreno definitivo y necesario para la colocación del muro de concreto.



Fotografía N° 30.- Reconocimiento de Terreno

3.2.2 Perforación y Colocación de Anclajes

Seguidamente se procede a ubicar en posición el equipo de perforación de modo que se respeten las distancias e inclinaciones en la ubicación de los anclajes.

La perforación de los anclajes puede ser realizada con el uso de revestimiento metálico o mediante la técnica de consolidación del agujero y reperfusión.

Para la perforación con consolidación, se inicia la perforación sin revestimiento metálico hasta donde el terreno lo permita debido a los derrumbes y desmoronamientos internos propios de la perforación. Acto seguido se procede a llenar el taladro con lechada de cemento ($a/c = 0.50$) y se dejara fraguar por un lapso no menor de una hora.

Después que se ha dejado que la leche fragüe, y sin dejar que esta alcance su resistencia total se procederá a reperfusión el taladro conformando de esta manera un revestimiento estable de cemento. Este proceso se repite reiterativamente hasta llegar a la profundidad establecida en el diseño.



Fotografía N° 31.- Excavación y Perfilado en tramo de muro proyectado desde cota superior, nótense las banquetas dejadas de suelo a lo largo del tramo para plataforma de trabajo de perforadoras y encofrados.

Una vez alcanzada la cota de fondo del anclaje, sea por un método o en el otro, se procede a colocar el anclaje previamente habilitado con tubo de PVC en el tramo libre y separadores de concreto. Finalmente se llena todo el taladro con lechada de cemento (relación a/c = 0.50) quedando el anclaje listo para ser tensado cuando la lechada alcance su resistencia final.

Si el anclaje no ingresa hasta la profundidad prevista, es aceptable una reducción en su longitud de un 5% la longitud total del anclaje.

3.2.3 Habilitación del Muro de Concreto Armado

Una vez colocado el anclaje y después que este ha desarrollado su resistencia inicial se procederá a perfilar el terreno llegando al nivel de vaciado de la pantalla de concreto armado.

Si el terreno no es muy estable, con el fin de evitar derrumbes posteriores, se recomienda aplicar un pañeteo de mortero con una malla tipo gallinero, dando de esta manera la cohesión necesaria para la estabilidad de corte.

Luego se procede a limpiar la zona de trabajo y a colocar la armadura de acero de refuerzo separándola del terreno mediante el uso de separadores cada cierto tramo. También se debe colocar el refuerzo adicional en la zona de los anclajes. Posteriormente se procede a habilitar y colocar el encofrado verificando los alineamientos y las inclinaciones indicadas en los planos. En los bordes del encofrado que van a dar a otros paños a vaciar posteriormente se debe prever la conformación de llaves de transferencia de corte de modo que el corte del concreto no se de en una sola sección o plano.

Completados los trabajos de encofrado y teniendo la iluminación necesaria durante todo el proceso, se inician los trabajos de vaciadr:> de concreto siguiendo las Especificaciones Técnicas descritas mas adelante.



Fotografía N° 32.- Colocación de acero de refuerzo vertical en tramo de muro proyectado.



Fotografía N° 33.- Encofrado de muro apoyado en banquetas dispuesto desde excavación inicial.

3.2.4 Desencofrado y Tensado

Al día siguiente de vaciada la pantalla, cuando el concreto ha tomado su resistencia inicial, se procede a desencofrar el tramo de pantalla y a colocar el cabezal de acero dándole una tensión inicial necesaria para contener el muro de concreto armado y evitar de esta manera, accidentes por situaciones fortuitas.

Al cabo de 7 días de colocado el anclaje, cuando este ha desarrollado su capacidad de carga, se procederá a dar la tensión de trabajo con una gata manual. Para su incorporación al muro mediante el cabezal de anclaje.



Fotografía N° 34.- Tramo de Muro desencofrado, nótese las mechas de alambres que quedaron del amarre con los paneles de encofrado en este lado de la pantalla ya anclada aun quedando pendiente los ensayos de tensión en este muro.



Fotografía N° 35.- Posicionamiento de la gata Hidráulica en anclaje con cabezal y placa de apoyo instalado para los ensayos de tensión, nótese la fijación de los clavetes parafinados en el cabezal para cada uno de los cables, asegurando de esta manera la prueba de tensión.



Fotografía N° 36.- Equipo de Tensión dispuesto para el Ensayo.



Fotografía N° 37.- Medición de desplazamiento relativo del tramo de muro con pie de rey, con respecto a la tensión de los cables de la vista.

3.2.5 Secuencia Constructiva

Después de terminar de habilitar y fijar un tramo de pantalla se procede a repetir el proceso con los demás paños hasta completar toda la pantalla de concreto armado teniendo en consideración lo siguiente:

- Los paños a un mismo nivel pueden desarrollarse alternadamente o seguidamente si es que eso no compromete la estabilidad de la torre. Las características del terreno y su comportamiento influyen en la toma de esta decisión.
- En el caso de pasar a una segunda hilera de anclajes se debe tensar los anclajes ubicados en la parte superior (1^o hilera) a su carga de trabajo según diseño antes de perfilar el terreno y habilitar el tramo de muro de concreto correspondiente.
- Las fases indicadas anteriormente deberán ser tomadas como recomendación y podrán ser mejoradas y/o modificadas según las necesidades de la obra y en beneficio de la misma.
- Los subsiguientes trabajos en esta secuencia constructiva se pueden observar para mayor entendimiento en los Anexos (ver Anx. 06).

CONCLUSIONES

1. La secuencia y método de construcción generalmente es determinado por el contratista sin embargo, hay ocasiones donde un método determinado de construcción o secuencia de operación debe indicarse en el diseño. En esos casos es necesario chequear que el método y las consecuencias de operación no sean riesgosas por sí mismas, en todos los casos debe establecerse una especificación en tal forma que el Supervisor pueda comprobar su cumplimiento durante la construcción.

2. Ante la ausencia de la grava en esta zona del país, es importante la buena gradación del tamaño de las piedras (zarandeo) que puedan conformar el hormigón para la preparación del concreto especificado para el tramo de pantalla anclada.

3. Durante la construcción siempre se encuentran condiciones del terreno respecto a lo proyectado cuando se ejecutan los trabajos y se obtienen los datos reales de las condiciones encontradas, esta referencia se hace mas que todo por la variación en la geometría de los bloques de deslizamiento respecto al diseño original. Suele suceder que la profundidad de contacto entre el macizo competente y el incompetente varía, esto lleva a reconsiderar el diseño y replantearlo a medida que se va construyendo, es decir poder aumentar o disminuir el numero de anclajes si el caso fuere considerable, además también influye en cuanto a las longitudes de los anclajes estimados, variando los metrados y por consiguiente variando el presupuesto y programación de la obra.

4. Una de las tareas críticas durante la ejecución de este tipo de proyectos donde se tiene que ejecutar trabajos al pie de taludes es la construcción de plataformas, estos elementos deberán ser diseñados y construidos teniendo en cuenta un conocimiento claro del tipo de equipos y espacios necesarios que se requieren, las plataformas por consiguiente deberán ser funcionales en lo posible, fáciles de montar y desmontar, absorber cargas verticales y laterales, si bien es cierto es difícil conseguir estructuras con altas resistencias en áreas reducidas estas, deben permitir una seguridad de los equipos de perforación.

5. Las perforaciones dependiendo del tipo de material a perforar no son rectas como se podría pensar, sobre todo cuando se trabaja en macizos en donde se encuentran variaciones de materiales suaves a duros; el sistema de perforación busca las zonas mas suaves y es por eso muy común encontrarse con desvíos de los taladros.

RECOMENDACIONES

1. Es importante para la seguridad y economía, que los diseñadores de estructuras de contención tengan especial consideración con los métodos de construcción y los materiales a ser utilizados. Esto ayudará a evitar diseños peligrosos y puede resultar en economía significativa_

2. Debe demostrarse durante la etapa de diseño o antes de la construcción que los materiales a utilizar cumplen con la especificación. El diseñador debe especificar muy claramente el tipo, número y frecuencia de los ensayos de calidad, permitiendo que los ensayos puedan ser aumentados durante la construcción de acuerdo a la heterogeneidad de los materiales y al tamaño del muro.

3. Las excavaciones durante la construcción de una estructura de contención deben ser especificadas en diseño y deben tener una estabilidad adecuada. También las excavaciones no deben producir movimientos inaceptables en estructuras cercanas o redes de servicios. La superficie de los taludes temporales también debe ser protegida contra la erosión. Cuando los taludes temporales son altos (más de 7.5 metros) deben construirse bermas intermedias.

4. Es común que el control inadecuado del agua freática durante la construcción induce fallas en los taludes o produce debilidad de las fundaciones de los muros de contención por lo tanto deben diseñarse medidas para el control del agua freática, siendo los drenes subhorizontales ejecutados en la obra materia de aplicación de este informe una alternativa de solución

5. Durante las pruebas de aceptación del anclaje (etapa de tensado) el equipo de medición de deformaciones del tramo libre del anclaje deberá tener una aproximación al centésimo de milímetro para cumplir con las recomendaciones del PTI ($\text{creep} < 1 \text{ mm}$) desde el minuto 1 hasta el minuto 10 durante la carga de ensayo.

6. En la ejecución de proyectos de sostenimiento, donde se tenga que trabajar sobre andamios y/o plataformas se recomienda utilizar equipos de perforación neumático como los trackdrill tipo (Hollman o Roe), por ser equipos livianos a comparación de los hidráulicos.

7. Para cada situación de diseño deben obtenerse las cargas concentradas o distribuidas que pueden afectar la estructura de contención tales como peso del suelo, la roca y el agua, presiones de tierra, presiones estáticas de agua, presiones dinámicas del agua, sobrecarga y cargas sísmicas

8. Para determinar las cargas debe tenerse una información muy clara de la geometría del talud, la geometría del modelo geológico y los niveles de excavación, así como los parámetros geotécnicos tales como peso unitario, resistencia al corte, permeabilidad, esfuerzos en el sitio, parámetros de deformación de la roca y el suelo.

9. La calidad de un diseño depende no solamente del factor de seguridad asumido sino también del método de análisis los modelos de cálculo, el modelo geológico, los parámetros geotécnicos y la forma como se definen los factores de seguridad; por lo tanto, los factores de seguridad por sí solos no representan una garantía para la estabilidad de la estructura de contención

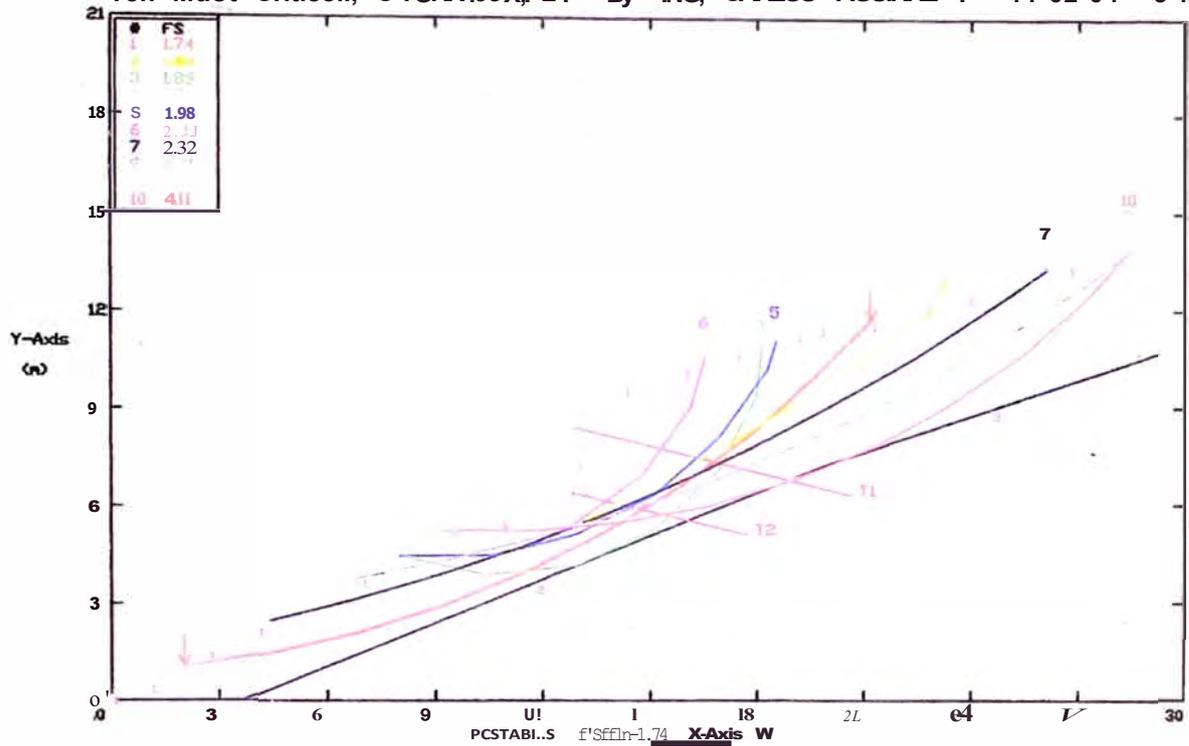
BIBLIOGRAFIA

1. Rock Engineering - Course Notes by Evert Hoek., San Francisco, 1986.
2. Evert Hoek, "Support of Underground excavations in hard rock"., Cincinnati, 1984
3. Obras de Estabilización de Taludes- Ing. Jaime Suarez Diaz, Bogota, 1998
4. Cables y Anclajes - ACINDAR.
5. Sistema Anticorrosivo de Anclajes - DSI_Systems.
6. Manual de Sondeos - López Jimeno, Carlos., Catalunya, 1996
7. Equipos de inyección y Perforación -Atlas Copeo.,
8. Ensayos de Tensión de Anclajes - OSI - Systems.
9. Gráficos y Ensayos de Tensión de Anclajes - Post-Tensioning Institute (PTI), Alabama, 1993.
10. Tesis "Sistema de Sostenimiento en Roca con Anclajes por Cables de Acero con Cabezal Retensable." - Ing Paolo Gonzales Tuesta.
11. GRAY D.H./LEISER A.T. 1982, Biotechnical slope protection and erosion control.
Van Nostrand Reinhold Company, Nueva York.
12. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales, Jaime Suarez D., Bogota, 2001
13. http://www.cimentacionesespecialesvalencia.com/muros_pantalla.html.
14. <http://www.murospantalla.com>

ANEXOS

ETESSELVA, LINEA 2251 - TORRE 103 MURO ANCLADO, SIN SISMO, NF.

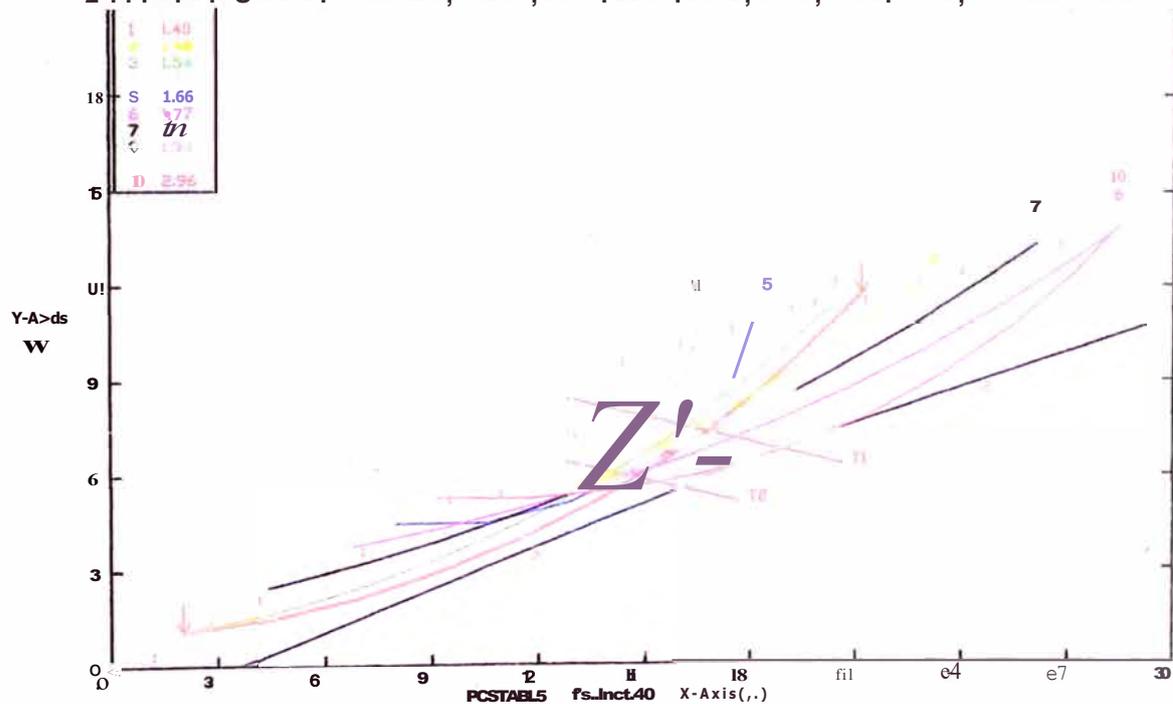
Ten Mast Crítico.I. C-TORR103X,PLT By ING. CARLOS AGUIRRE F 11-02-04 3-48pM



Soil Type No.	Total Unit wt. (pcf)	Saturated Unit wt. (pcf)	cohesion (psf)	friction (psf)	Pore Pressure Por-o-A	Pore Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	L7	L9	L3	25	0	0	0
e	t7	L9	00	40	0	0	0

ETESSELVA, LINEA 2251 - TORRE 103 MURO ANCLADO, CON SISMO, NF.

Ten Mast Crítico.I. C-TORR103Y,PLT By ING. CARLOS AGUIRRE F 11-02-04 3-48pM



SOIL No.	Total Unit wt (pcf)	Saturated Unit wt (pcf)	cohesion (psf)	friction (psf)	Pore Pressure Por-o-A	Congl. onl. (psf)	Piez. Surface No.
1	L7	L9	L3	25	0	0	0
e	t7	L9	00	40	0	0	0

FORMAS DE CONTRATACIÓN Y PRESUPUESTO

PRECIOS UNITARIOS

SUMA ALZADA

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO COMPARATIVO DE LOS 3 SISTEMAS DE ANCLAJES

Consideraciones:

- Área de la sección del elemento
- Fuerza limite de rotura
- Peso del elemento

PARA UNA FUERZA CONSTANTE EN LOS 3 CASOS
PRESENTAMOS EL SIGUIENTE CUADRO

SISTEMA DE ANCLAJE	DIAMETRO PERFORACION (mm)	CANTIDAD DE ANCLAJES	COSTO PERFORAC. POR METRO LINEAL	COSTO PARA EL SISTEMA
Perno	25	527	1 A	527 A
Barra	41.4	135	1.2A	162 A
Cable	30	110	1.11 A	122.1 A

De esta manera podemos concluir que con los anclajes de cable se puede obtener la carga estabilizadora con un menor número de anclajes, lo cual representa ahorro en el costo de la perforación, muy aparte del costo de instalación, además de tener la ventaja de poder tener anclajes de mayores longitudes, flexibles, fáciles de transportar y de poseer protección anticorrosiva_

ANEXO 03. PARTIDAS CONFORMANTES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

Obras Preliminares

Movilización y Desmovilización

Comprende el traslado de los equipos hacia los frentes de trabajo de la obra, siendo las maquinas perforadoras las que demandan mayor tiempo de labor si tenemos en cuenta las dificultades de accesibilidad al punto de obra.

Queda seguramente en el supervisor verificar el tipo, cantidad, potencia, capacidad y correcto estado operativo de los equipos y maquinarias que ingresan al lugar de obra.



Fotografía N° 38.- Movilización de Equipos a Obra.

Mejoramiento de Acceso Vial Existente/ Construcción de Acceso Vehicular

Esta partida se refiere al mejoramiento y/o construcción de los caminos de acceso a las zonas de trabajo y fuentes de agua. el ancho de estos caminos será como mínimo 4.50m con plazoleta para cruce de vehículos de 5.40m como máximo.

Por las condiciones agrestes de esta zona de la selva del Perú, se hizo necesario para definir el acceso vial invadir en sembríos de terrenos de propiedad de los pobladores cercanos a la obra.

Habilitación de Camino de Herradura

Esta partida se refiere a la apertura del camino desde el punto de acopio hasta la torre trabajada, el ancho de estos caminos será como mínimo 2.00 m., la longitud de acceso será la mas corta.



Fotografía N° 39.- Trocha de camino definido como ruta de punto de acopio a obra, se observa que solo es posible el camino de herradura.

Trazo y Replanteo

El replanteo topográfico se realiza mediante estacado de puntos que referencia las cotas superiores del muro proyectado, así como la ubicación de perforaciones donde serán instalados los anclajes, esta partida realizada antes de iniciar la construcción.



Fotografía N° 40.- Verificación de la ubicación de las perforaciones protegidas con tubos de pvc, nótese las referencias de cotas superiores del muro.

Campamento De Obra

Para efectos de la obra, se instaló provisionalmente un campamento que servía de abastecimiento de insumos, básicamente materiales para los equipos de perforación y/o ejecución del muro, necesarios en el lugar de la obra.

Esta instalación temporal alquilada está localizada y mantenida en condiciones seguras hasta el momento hasta la culminación de la obra, luego serán removidas del lugar del trabajo y dispuestas de ellas como sea coordinado con el propietario.

Desbroce y Eliminación del Material Vegetal

Para disponer de la zona de trabajo, se deben realizar trabajos inicialmente en obra, servido de materiales, equipos y transporte requerido para completar el desbroce de las áreas dentro de las instalaciones de las Obras comprendidas.

Tener en cuenta por desbroce al corte y talado de árboles y la disposición satisfactoria de árboles, ramas, hojas u otra vegetación, con respecto a los frentes de trabajo durante la ejecución.



Fotografía N° 41.- Area de material vegetal a eliminar.

a. Area A Ser Desbrozada

Realizar el desbroce solamente en áreas designadas en los planos (toda zona relacionada a la construcción).

Desbrozar todas las áreas de préstamo en una extensión necesaria para compensar todos los materiales de relleno.

b. Disposición De Los Materiales Desbrozados Y Desyerbados

Todos los arboles, troncos, hojas, cepas, otros desechos de las operaciones de desbroce y deshierbe y todos los escombros restantes de las operaciones previas de desmonte deberán ser ubicados de tal forma que no perjudiquen el avance de los trabajos.

Obra de Estabilización de Suelos

Excavación Manual en Material Suelto

Esta secuencia comienza con suficiente anticipación los trabajos de perforación, de tal forma que puedan definirse secciones transversales y elevaciones del terreno no alterado donde se ubicaran y apoyaran los equipos de perforación, respectivamente, de esta manera estimar los cálculos de volúmenes respectivos. Considerando siempre no excavar mas allá de los límites proyectados del muro a construir.

La excavación se realiza con herramientas manuales (pico y pala) considerando en el avance la geometría de las estructuras, el alineamiento y cotas indicadas en los planos del proyecto y/o replanteo, controlándolos topográficamente. Las raíces, troncos y materiales inadecuados y sueltos que se encuentren en esta secuencia deberán ser retirados o cortados al ras; así como toda piedra o material (suelo) inestable deberá ser removida, así el material escapa a los límites, justamente para no perjudicar los límites del muro diseñado.

En ninguna etapa de la construcción se podrá depositar material proveniente de la excavación de manera que ponga en peligro la estabilidad de la excavación y/o de la estructura a medio construir, ya sea por presión directa o indirecta de parte de la sobrecarga de terraplenes contiguos al trabajo.

Eliminación de Material Excedente

La eliminación y disposición del material excedente provienen de las excavaciones hechas en obra, estos materiales deberán ser ubicados en zonas que no perjudiquen los avances de obra; una vez que se haya terminado la obra, estos materiales deberán ser compensados ambientalmente de tal forma que sean reconformados y revegetados.

Traslado local de equipos de peñoración

Comprenden los trabajos de traslado de los equipos y accesorios de perforación desde el punto de acopio hasta la zona de trabajo, teniendo cuidado de realizarse por accesos debidamente acondicionados, haciendo usos de vientos de seguridad (sogas de cuerda fijadas a puntos en diferentes direcciones al movimiento) en caso las pendientes por donde se traslade el equipo sean muy fuertes.

Perforación de sondeos para Anclajes

Dentro de la perforación de sondeos o agujeros para la instalación de anclajes puede ser realizado por método rotativo y/o rotopercusivo, en los diámetros mínimos que se indican en los planos, aquí como es el caso aplicado, considerar que ante la posibilidad de investigación del subsuelo con muestras del suelo recuperadas mediante perforaciones diamantinas de investigación es que se elige el método de perforación rotativa por ser más idóneo tanto para el sondeo como para la recuperación. En caso sea necesario el uso de algún soporte para la

estabilidad del agujero perforado, podrá utilizarse revestimientos metálicos recuperables o podrá garantizarse la estabilidad de las paredes de la perforación mediante la consolidación y reperforación del agujero, hasta alcanzar la cota de fondo del anclaje. En la perforación no podrá hacerse uso de lodos o aditivos químicos.

Instalación y Retiro de Tubería de Revestimiento

Si queremos garantizar la estabilidad de las paredes de la perforación, hay que facilitar la instalación del anclaje, la perforación se realizara haciendo uso de revestimientos metálicos de diámetro compatible con el de la perforación. Una vez alcanzada la roca de fondo de anclaje, se procederá a la instalación del mismo y al retiro del revestimiento. Esta actividad deberá hacerse despacio y cuidando de no arrastrar el anclaje durante el retiro de la tubería.

Suministro e Instalación de Anclaje

Es la parte del proceso que comprende actividades de suministro, montaje y armado de los anclajes e instalación en los agujeros perforados para ser luego tensados e interactuar con el muro de concreto armado a construir.

Los anclajes son constituidos de una barra de acero única, o por un conjunto de varias barras que son ordenadamente montadas alrededor de un tubo plástico de diámetro 1". Para mantener las barras ordenadas, se utilizan espaciadores plásticos, que mantienen las barras separadas para permitir la entrada de la lechada de cemento.

El anclaje está constituido de 3 partes:

- a) Cabezal del anclaje
- b) Tramo libre
- c) Tramo anclado

a) Cabezal del anclaje

El cabezal del anclaje es un elemento hecho de acero estructural que permite la incorporación del anclaje al muro de concreto armado, transmitiendo este ultimo los esfuerzos estabilizantes al terreno. Si el anclaje es de cables de acero siendo éste

nuestro caso, la fijación se realiza mediante clavetes comeos, pero si el anclaje fuera de barras la fijación se da mediante tuercas respectivas.

b) Tramo Libre.

Es aquel tramo ubicado entre el cabezal y el tramo anclado del anclaje. Tiene la función de transmitir esfuerzos por lo que este tramo deberá estar forrado para no permitir el de fricciones entre el cable y la lechada de cemento que lo rodea. De esta forma, este tramo se deformara libremente. La lechada de cemento usada para inyección del tramo, tiene factor variable de $A/C = 0.5$ a 0.6 en peso.

e) Tramo Anclado.

Es la parte del anclaje fijada al subsuelo mediante inyección de lechada de cemento y tiene una longitud tal, que garantice asimilar los esfuerzos de interacción de los empujes, sismos, sobrecargas; Así como garantizar la carga ultima de anclaje. La lechada de cemento normalmente usada para el Tramo Anclado, tiene factor agua/cemento = 0.5 a 0.6 en peso.

Los cables del anclaje o las barras deberán estar en directo contacto con el cemento, para desarrollar los esfuerzos en el subsuelo que permiten el efecto de empotramiento de este tramo.

Durante el suministro y elaboración del anclaje revisar las longitudes del mismo, el estado de los cables, así como sus materiales de recubrimiento (tubo de pvc), al momento de la instalación comprobar su ubicación, dirección, inclinación, profundidad y considerando algún tipo de flexibilidad con respecto a las dimensiones establecidas previamente si encontramos limitaciones con la geología local.

Materiales

a) Acero

El acero es de grado 270 de baja relación, con diámetro de $\frac{1}{2}$ ", deberán presentarse íntegros y sin daños. En caso se observe alguna oxidación en los mismos, se deberá someterlos a tratamiento, de acuerdo a la carga de trabajo de los anclajes, se usara necesario el uso de 4 cables.

b) Lechada de cemento

El cemento usado en la lechada para inyección de los anclajes es preciso el cemento Pórtland común, Tipo 1, en su envase original, cuidando con cualquier irregularidad con respecto al estado de las piladas formadas de cemento en almacenamiento.

El agua mezclada con el cemento tiene que estar limpia y dulce, sin impurezas de cualquier naturaleza. El cemento deberá ser mezclado con el agua en mezcladores apropiados (bombas de inyección) de alta turbulencia durante 1 minuto y después, la mezcla es transferida para agitadores, para mantener las partículas en suspensión en la lechada. La proporción en peso de agua/cemento, generalmente es de 0.5 en peso. Este factor agua/cemento podría sufrir modificaciones en función del grado de absorción de la misma por el terreno. Considerar como distancia máxima de transporte de la lechada es de 200 metros.

Los accesorios del anclaje como tubos de inyección, separadores de cables, válvulas y centralizadores, tienen que conservar la calidad que garantice el eficiente comportamiento del anclaje durante su vida útil.

Ejecucion

El montaje del anclaje debe ser hecho en un área protegida de la acción del viento y de las lluvias, perjudicando los cables de acero con partículas transportadas en el ambiente. El área de montaje deberá tener el ancho suficiente para cortar las barras, limpiarlas y montarlas, disponiendo el tubo de inyección iniciamos el montaje del anclaje.

Después de montado, almacenamos el anclaje debidamente acondicionado. En la zona de perforación donde se instala el anclaje debe estar limpia y sin obstrucciones. La introducción del anclaje dentro de la agujero perforado se hace instalándolo hasta encontrar la cota de fondo (profundidad) de diseño.

SUMINISTRO DE CABEZALES Y TENSADO

Son todos los trabajos de suministro de los cabezales de anclajes, los cabezales y las placas de apoyo, de material de acero estructural que garanticen correcta incorporación del anclaje al muro de concreto armado, así como los clavetes,

usados para la fijación de los cables de acero, deberán asegurar un eficiente ensayo de tensión.

El tensado de los anclajes se realiza según los lineamientos indicados en las recomendaciones del Post Tensioning Institute (PTI) o en la norma brasileña NBR 5629 de la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT).



Fotografía N° 42.- Traslado de los Equipos de Tensión.

CONCRETO PARA EL MURO ; $f'c = 21 \text{ O Kg/cm}^2$

Son las actividades que comprenden los trabajos relacionados a mano de obra, materiales, herramientas para ejecutar el muro con respecto al concreto armado, respetando las especificaciones sujeto a términos y condiciones de la obra contratada.

Debido a la ausencia de piedra en la zona se utilizará hormigón como agregado, además de cemento, y agua en proporciones necesarias para producir una mezcla plástica trabajable de acuerdo con los requerimientos de las especificaciones. El concreto se clasifica como "A" y "B", para dos tipos de mezcla en el muro proyectado, respetando las condiciones normales de fraguado.

a). Concreto Clase "A": El concreto clase "A" debe tener una resistencia a la compresión no menor a 21 O Kg/cm^2 y debe ser usado para el muro pantalla anclado.

b). Concreto Clase "B": El concreto Clase "B" debe tener una resistencia a la compresión no menor de 100 Kg/cm², y debe ser usado para la fabricación de cunetas, cajas de pase u otra obra de arte requerida.

Cemento:

El cemento debe satisfacer los requerimientos de ASTM C 150, el cemento para los concretos de clase "A" y "B" debe ser Pórtland Tipo I

Agregados:

Debido a la ausencia de material granular en las zonas de trabajo, se utilizará hormigón lavado, que es un material proveniente de Canteras cercanas a la zona de trabajo. Este material debe estar libre de fracción fina y de materiales de procedencia orgánica. Debe cumplir con los requerimientos de ASTM C-33.

Agua:

El agua debe ser fresca, limpia, potable y libre de partículas perjudiciales de ácido, álcali, sales, aceites, y/o material orgánico.



Fotografía N° 43.- Material Agregado de Cantera Local

C. Almacenaje de Materiales:

a). El cemento deberá ser almacenado inmediatamente después de ser recibido en obra, en un lugar seco, protegido contra la intemperie previendo que el cemento absorba humedad, colocando materiales que no transmitan la humedad en las bolsas que inician las piladas formadas en el almacén.

b). El hormigón se almacena de tal forma que prevenga la inclusión de materiales extraños perjudiciales en la mezcla de concreto.

D. Diseño y mezcla del concreto

El diseño de mezcla a ser usado debe ser preparado y ensayado por un laboratorio mediante muestras de 4 probetas realizadas en obra durante su preparación, dos (2) deben ser ensayados a los 7 días y dos (2) ensayados a los 28 días. Los cilindros deben ser hechos y ensayados de acuerdo con la ASTM C 31 y C 39.



Fotografía N° 44.- Preparación de probetas para ensayo de resistencia de mezcla de concreto.

E Requerimientos de construcción

a). Dosificación y mezcla del concreto

La dosificación y mezcla del concreto realizada en obra debe contar con equipo necesario para determinar y controlar las cantidades reales de ingreso de ingredientes en la mezcla, siendo minimamente suficiente para esta obra una mezcladora con tambor de 7 p³.

b). Dosificación de los Materiales:

La dosificación de los materiales debe ser efectuada de una manera tal que deba producir una mezcla trabajable que tenga un asentamiento (slump) dentro de los límites requeridos (3-4 mm.), y tenga un contenido de agua mínima.

Las proporciones exactas de los materiales a ser utilizados en el concreto deben ser determinadas por el laboratorio de Diseño de Mezcla, esto se relaciona con las resistencias especificadas para cada elemento estructural del muro.

En obra los materiales se miden en volumen, una bolsa de Cemento Pórtland debe ser considerada como 1 pie cúbico y un litro de agua 0.001 m³., cada metro cúbico de concreto conteniendo cemento Tipo I debe contener no menos de las siguientes cantidades de cemento:

Clase "A":9.0 bis/ m³

Clase "B":5.0 bis/ m³

La cantidad de agua a ser usada en la mezcla, en todos los casos, debe ser la menor cantidad necesaria para producir una mezcla plástica teniendo la resistencia requerida, la densidad deseada, uniformidad, trabajabilidad, y características dentro de los límites requeridos de asentamiento (slump).

Por las condiciones de acceso a obra se utilizará una mezcladora de 7 p³, asegurando una distribución uniforme del material, descargando toda la mezcla en una tanda para emprezar otra y no variar las proporciones en las siguientes recargas, así como los volúmenes estimados de mezcla y de maquina. El mezclado de cada tanda debe ser continuo y no menor de 1-1 /2 minutos, luego que todos los materiales se encuentren en la mezcladora.

Antes que el concreto sea vaciado, revisar integralmente los trabajos de encofrado, previendo la seguridad durante el vaciado de los operarios, obreros y de la misma obra, así como algún tipo de filtración de concreto fuera del muro a ejecutar.

El agua acumulada y los desechos deben ser removidos de las excavaciones, y del encofrado, en el cual el concreto tiene que ser vertido. Los encofrados deberán estar perfectamente humedecidos con agua antes que el concreto sea vaciado para evitar la pérdida de humedad de la mezcla. Los caminos de las carretillas (plataforma de recorrido de boogies), si es que son usados, no se deben apoyarse directamente en los encofrados y cambiando dimensiones o alineamientos.



Fotografía N° 45.- Preparación de tanda en mezcladora con agregados.

Al momento del vaciado la obra debe contar con la iluminación necesaria; el vaciado proyectado en esta parte de la obra no debe ser empezado si es que esta no puede ser terminada durante el tiempo que dure la luz necesaria, si tenemos en cuenta que el abastecimiento de combustible no esta a la mano por cuestiones de inaccesibilidad.

El concreto debe ser vaciado de una manera previniendo posible segregación de los agregados, desplazar los aceros de refuerzo, para esto se cuenta con un equipo de vibración que se debe manejar con eficiencia para evitar los resultados mencionados. La presión de diseño de trabajo del encofrado no debe ser superada en ningún momento por el concreto vaciado. El concreto debe ser vaciado en capas horizontales continuas y el grosor de ellas aprox. no debería exceder 0.50 m. Si el concreto tiene que ser soltado a más de 1.50 m, debe ser depositado mediante ventanas en los encofrados.



Fotografía N° 46.- Nótese la plataforma de recorrido de los boogies para vaciar tramo de muro inferior, tramo superior anclado ya vaciado.



Fotografía N° 47.- .Nótese los dos tramos de muro vaciado

Durante la vibración debe hacerse no para trasladar concreto dentro del encofrado mas sino distribuir los agregados dentro del mismo en puntos especificas, previendo el tiempo de vibracion cuidadonse de la segregacion, los equipos de vibración mantendrán una vibración no menor a 5000 impulsos por minuto, cuando sea sumergido en el concreto, el vibrador no debe pasar por las capas más bajas que empiezan a fraguar. Contar con un vibrador de repuesto en campo, para subsanar cualquier imprevisto.



Fotografía N° 48.- Manguera de vibración

El vaciado de concreto debe ser continuo sin interrupción para que la unidad o tramo vaciado sea monolítica en su construcción.

El concreto debe ser vaciado y compactado de una manera tal que forme una estructura densa, compacta y que tenga las caras lisas en las superficies expuestas.

Antes de vaciar concreto nuevo sobre uno antiguo, éste debe tener una superficie rugosa y libre de materiales extraños para mejorar la adherencia entre ellos.

e) Juntas de Construcción:

La junta de construcción justificada en obra para separar los tramos o unidades de muro vaciado y localizados a través de regiones de baja resistencia al corte como para minimizar la imparidad de la resistencia y apariencia de la obra.

f) Curado:

El concreto debe mantenerse húmedo con agua limpia por un periodo de siete (7) días después de vaciado, si el clima es muy caluroso, se debe proteger los muros de un fraguado violento con mantas de yute húmedas, para mantener un curado constante en los muros.



Fotografía N° 49.- Juntas de construcción entre tramo de muros.

Encofrado del Muro

Los encofrados de madera a ser utilizados para recibir al concreto deben tener la superficie conveniente para obtener el acabado requerido, si queremos ayudarlo con aceite debe ser tal que no manche el concreto.



Fotografía N° 50.- Apuntalamiento apoyado en banquetas dejadas para trabajo de tramo de muro encofrado.

El trabajo de encofrado debe ser constituido para concordar con las formas, líneas, y dimensiones de la obra de concreto como es mostrado. Los encofrados deben ser fijados en línea y niveles, deben ser apuntalados, amarrados y asegurados de una manera que puedan soportar el vaciado de concreto, la cual mantendrá la forma y posición. Los encofrados deben estar ajustados y bien ensamblados para evitar la deflexión de la pantalla y filtración del concreto. Las juntas deben ser arregladas vertical u horizontalmente. La madera usada una vez en los encofrados deberá tener los clavos removidos y las superficies en contacto con el concreto que deben estar completamente limpias antes de volver a usarse. Las mangas, inserciones y aberturas requeridas en el concreto deben ser apropiadamente colocadas en el encofrado, como es el caso de los subdrenes horizontales, los propios anclajes, las cajas de pase para ayudar al servicio de drenaje que considera estos tipos de trabajo de estabilización.



Fotografía N° 51.- Encofrado en servicio durante los trabajos de vaciado

El encofrado al momento de retirarlo verificar haya adquirido suficiente resistencia para soportar seguridamente su propio peso y la carga impuesta en él; la remoción del encofrado será con un tiempo no menor a las 24 horas.

a). Remoción del Encofrado: Cuando el concreto haya traguado lo suficiente, el encofrado debe ser removido cuidadosamente. Las depresiones resultantes de la remoción del encofrado, y todos los otros huecos y partes ásperas, deben ser completamente humedecidos con agua y resanados.

b). Acabado: Después que las superficies resanadas han fraguado lo suficiente, todas las superficies especificadas a ser acabadas deben ser mantenidas húmedas con agua. Si la temperatura ambiente es muy alta, entonces se colocarán telas húmedas encima para evitar el secado brusco.

Acero de Refuerzo

Para los trabajos de habilitación de los aceros de refuerzo, revisar correctamente los planos del diseño propuesto para el muro en cuanto a esta partida, entendiendo al elemento como pantalla, comprende el enmallado (doble) de los diferentes tramos del muro a trabajar, varillas según especificaciones en sentido horizontal y

vertical, respetando los traslapes entre refuerzos horizontales, su buen atortolamiento en los cruces de refuerzos para amarres, y aquí tener muy en cuenta la ubicación de los refuerzos adicionales a las mallas alrededor de los anclajes por concentrar en esta parte el muro gran cantidad de esfuerzos que se generan a partir de los suelos inestables hasta los cables tensionados, seguidos al muro con anclajes.

Tolerancias

Las tolerancias en la colocación longitudinal del refuerzo serán:

- a) Dobleces y términos del refuerzo ± 5 cm.
- b) Términos del refuerzo en extremos libres ± 2.5 cm.

Materiales

- a) El acero de refuerzo debe ser de Grado 60. Las varillas de refuerzo deben ser fabricadas en el taller y etiquetadas con la identificación necesaria para facilitar su clasificación y colocación. EL acero utilizado debe cumplir con la norma ASTM A-36
- b) El alambre para ataduras debe ser No. 16 AWG o más pesado



Fotografía N° 52.- Habilitacion de acero de refuerzo para tramo de muro.



Fotografía N° 53.- Observar los estribos con acero de $\frac{1}{2}$ " dejados alrededor del anclaje (parte superior de encofrado).

Instalación

a) Todo acero de refuerzo debe ser del tamaño y forma mostrados en los PLANOS. Tamaños mayores de acero de refuerzo serán permitidos sí es requerido y aprobado por escrito.

b) El uso de una antorcha de calor o fuego para cortar o doblar el acero no será permitido.

c) Las varillas deben estar libres de costras, tierra, grasa, u otro material extraño el cual es perjudicial para la adherencia.

d) Las varillas de refuerzo deben ser colocadas con precisión con respecto a la separación y espacio libre, amarradas con seguridad en las intersecciones y apoyadas de tal manera para prevenir el desplazamiento durante el vaciado de concreto.

e) Los empalmes de armaduras se harán de acuerdo a la siguiente tabla:

Diámetro de barra	Long. de empalme (cm)
3/8"	35
1/2"	45
5/8"	55



Fotografía N° 54.- Tramo de muro superior habilitado con acero en proceso de encofrado, observese las aberturas de encofrado para anclajes .

Drenes Profundos (Subhorizontales)

a) Con la finalidad de aliviar las presiones provocadas por el agua en la ladera, deberán ser instalados drenes sub-horizontales en las ubicaciones, direcciones, inclinaciones y profundidades indicadas en los planos.

b) Los drenes serán instalados según lo indicado en los planos. La ubicación podrá sufrir modificaciones en función de las particularidades topográficas y geológicas locales.

Suministros

a) Se requiere de un plan programado y detallado para la preparación, perforación, colocación del material de drenaje, incluyendo una descripción de los equipos y procedimientos a ser usados.

b) Se requiere un plan de colocación de los drenes para especificar los equipos, procedimientos, materiales, insumos y permitir una secuencia lógica en la optimización de los equipos en cada frente, avanzando en paralelo con las obras correctivas.

Material de drenaje

El material que se usará para la construcción de los drenes será el siguiente:

- Tubería perforada de PVC de 2" de diámetro, clase 10, con una longitud variable, especificada en planos.
- Tapón de mortero a/c (1 :3)
- Envoltura de geotextil tipo no tejido de 2 mm. de espesor.

Ejecución

Las actividades a ejecutar son las siguientes:

- a). Movilización e instalación de equipos de perforación.
- b). Las perforaciones se harán tal cual especifican los planos, con una pendiente positiva de 2% a 5%, con una profundidad variable de acuerdo a lo especificado en planos. El diámetro de la perforación será de 3" a 5" como máximo.
- c). En forma paralela se deberá tener listo para instalar, una tubería de 2 " de diámetro de PVC. Con ranuras de ¼" de diámetro perforadas a lo largo del tubo, equidistantes a 10cm una de otra, de tal manera que permitan la conductividad del agua desde el suelo hasta el exterior por medio del tubo. El tubo debe estar cubierto por un geotextil no tejido de 2mm, que impida el paso de sólidos junto con el caudal de paso produciendo la obstrucción del mismo. El geotextil será asegurado de tal manera que no se desplace con relación a la tubería, ante la acción de colocado dentro de la perforación.

d). Según la naturaleza del suelo, se deberá ver la mejor manera de perforar y utilizar tuberías de revestimiento a fin de facilitar la instalación de la tubería perforada. Se recomienda el uso de una tubería de 4", a fin de poder trabajar internamente con el tubo perforado, instalándolo fácilmente.

e). Una vez colocada la tubería dren, se procederá a sellar el cabezal con una mezcla de mortero cemento:arena (1 :3), según indicación en planos, a fin que toda el agua de infiltración salga a través del tubo. El agua deberá ser conducida fuera de la zona crítica. Para una mejor colocación del tapón de concreto, se recomienda el uso de un tapón de papel de bolsa de cemento, o de un packer de jebe o similar (el cual quedará cautivo) que sirva como un encofrado del cabezal sellado del dren.

OREN CORTO DE PVC DE 2"

Las tuberías de drenaje corto reducen la presión de agua infiltrada sobre la pantalla. La tubería será de 2" de diámetro, PVC clase 10 no perforada, de 0.50 m de largo.

Ejecución

La tubería de PVC de 2", se colocará en los niveles y pendientes según planos, primero se harán las excavaciones de acuerdo a las especificaciones respectivas, luego se colocará la cama de arena, seguidamente el tubo de 0.50 m de largo envuelto en geotextil y finalmente una cobertura de grava.



Fotografía N° 55.- Perforación con recubrimiento metálico e instalación de tuberías de drenaje de material de PVC.

Cuneta de Coronación Revestida

Los canales de piedra consistirán en estructuras de piedra emboquillada o de concreto Tipo "B", colocados sobre relleno de material de sub-base granular compactada.

Esta partida comprende las siguientes operaciones:

- a) Excavación y perfilado del canal y/o del terreno.
- b) Construcción del revestimiento del canal con piedra emboquillada o concreto Tipo "B" e inclusión de piedra mediana.

Materiales

Los materiales a emplearse en la construcción de los canales revestidos son:

Concreto de tipo "B" con adición de 30 % de piedra de la zona.

Método de construcción

- a) Excavación del canal.
- b) Relleno donde se requiera para obtener la sección transversal y pendiente apropiada, según los planos del proyecto
- c) Revestimiento de concreto y piedra emboquillada.

Procedimiento de construcción de la mampostería

- a) Excavar el terreno para conformar el canal, de acuerdo a la pendiente y profundidad establecida en planos.
- b) Colocar el empedrado adecuadamente a fin de conformar una trama compacta, con la menor cantidad de vacíos y procurando obtener una superficie lo más pareja, alineada y nivelada posible.
- c) Revestir con concreto tipo "B", la superficie del canal rellenando todos los huecos superficiales, ligando los pedrones y alisar la superficie.



Fotografía N° 56.- Construcción de cuneta de coronación.

SUMINISTRO Y CONSTRUCCIÓN DE CAJA DE PASE

- Concreto $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$, igual a b señalado en la partida de concreto.
- Encofrado, igual a b señalado en la partida de encofrado.



Fotografía N° 57.- Construcción de caja de pase en parte inferior de muro, obsérvese línea excavada saliente de pantalla.

Ejecución

Estos elementos sirven al muro como canales de drenaje de la escorrentía superficial a sectores cercanos de la pantalla anclada.

Las cajas de pase serán construidas de acuerdo a los planos (ver planos) y su construcción podrá ser pre fabricadas o fabricadas in situ.

EMBOQUILLADO DE PIEDRA; $e= 0.15m$.

Esto comprende el recubrimiento de superficies con mampostería de piedra, éste se colocara en los las conexiones de tubos de PVC de clase 10 en los cambios de pendiente para proteger al terreno de y estructura de problemas de socavación y erosión.

Materiales

a) Piedra.- la piedra a utilizar en el emboquillado debera tener tales dimensiones tales que la menor dimension sea inferior al espesor del emboquillado en 5 cm. Se recomienda no usar piedras redondeadas o cantos rodados sin fragmentar, ni piedras imtemperizadas o fragiles. De preferencia las piedras deberan ser de forma prismatica, tener una cara plana como mínimo, la cual sera colocada en el lado del emboquillado.

b) Concreto.- Debe cumplir con lo especificado para una resistencia minima de $f'c= 140 \text{ Kg/cm}^2$

Mortero.- el mortero a utilizar para el llenado y asentado de juntas de las piedras estara constituido de cemento y arena, en una proporcion de uno a tres (1 :3).

REVEGETACIÓN GENERAL SOBRE OBRAS CORRECTIVAS

La limpieza de los terrenos de trabajo, de tal forma que se garantice la revegetación natural de la zona antes de abandonar la obra.

Ejecución

Se utilizarán materiales propios para el relleno en las zonas donde se necesite. La adecuada limpieza de la zona, consistirá en eliminar los materiales que no pertenezcan al ecosistema de la zona.



Fotografía N° 58.- Trabajos de reconfonnación de áreas eliminadas en parte lateral del muro, nótese la compactación del suelo apoyado por un entablado para luego iniciar la revegetacion.



Fotografía N° 59.- Trabajos de reconfonnación a pie de torre, parte superior del muro (zona cuneta de coronación).

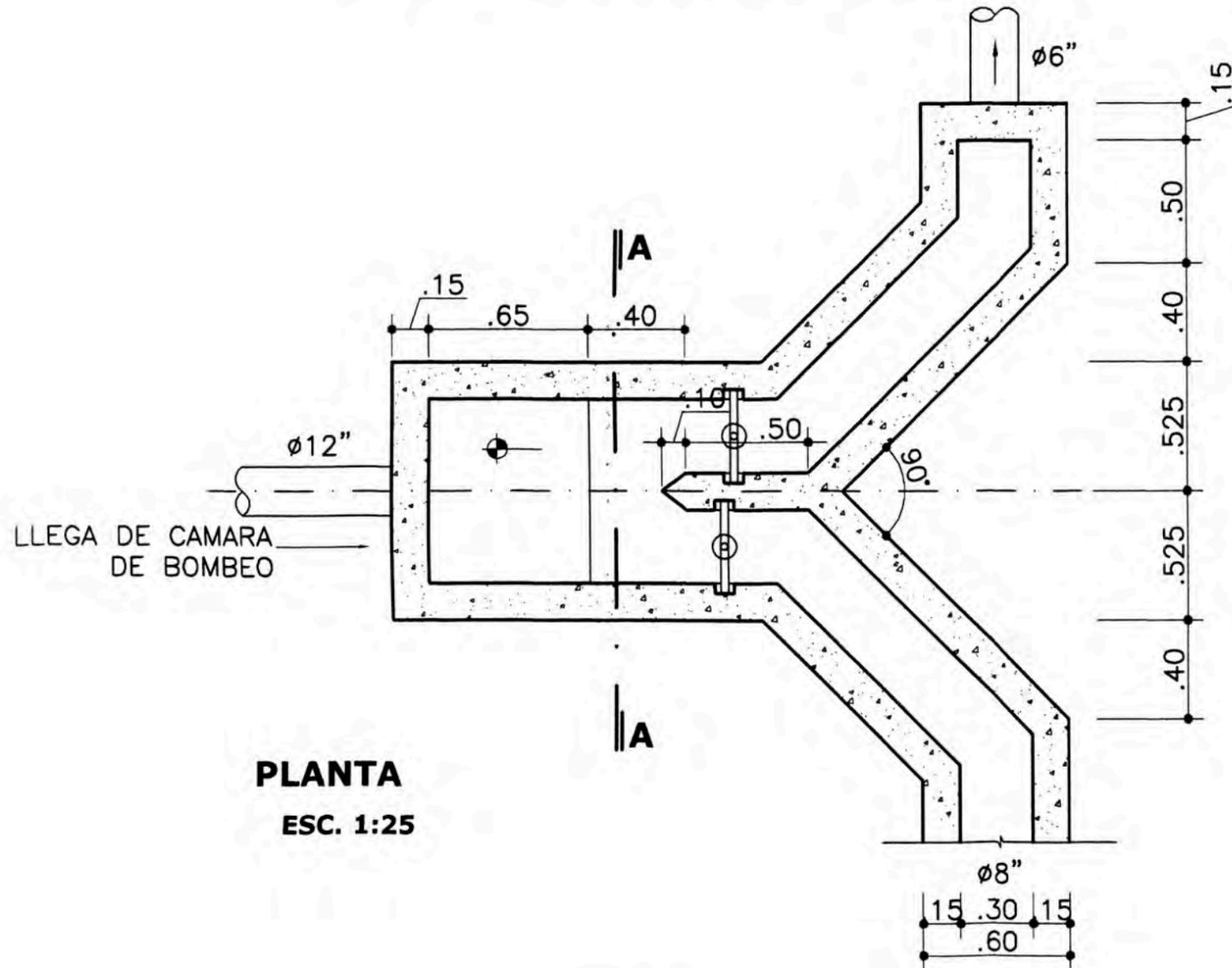
SELLADO DE GRIETAS

Este trabajo consistirá en la ubicación de grietas en los taludes para su posterior sellado con mortero de cemento y arena fina (podemos tamizar el agregado usado en concreto) en proporciones típicas para el acabado del muro correcto.

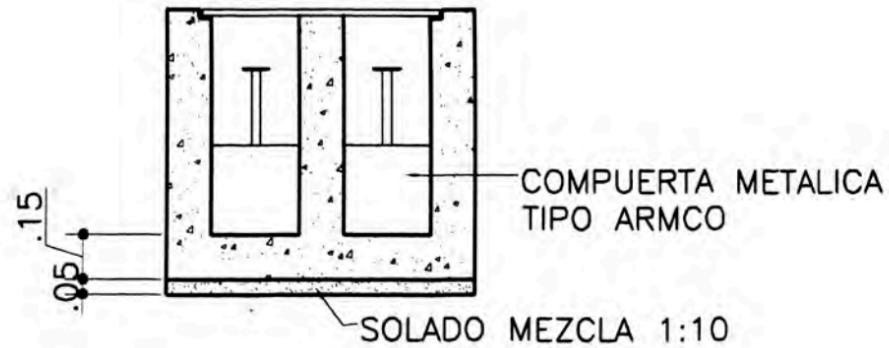


Fotografía N° 60.- Sellado de grietas en pantalla.

CAMARA DE REUNION Y DISTRIBUCION

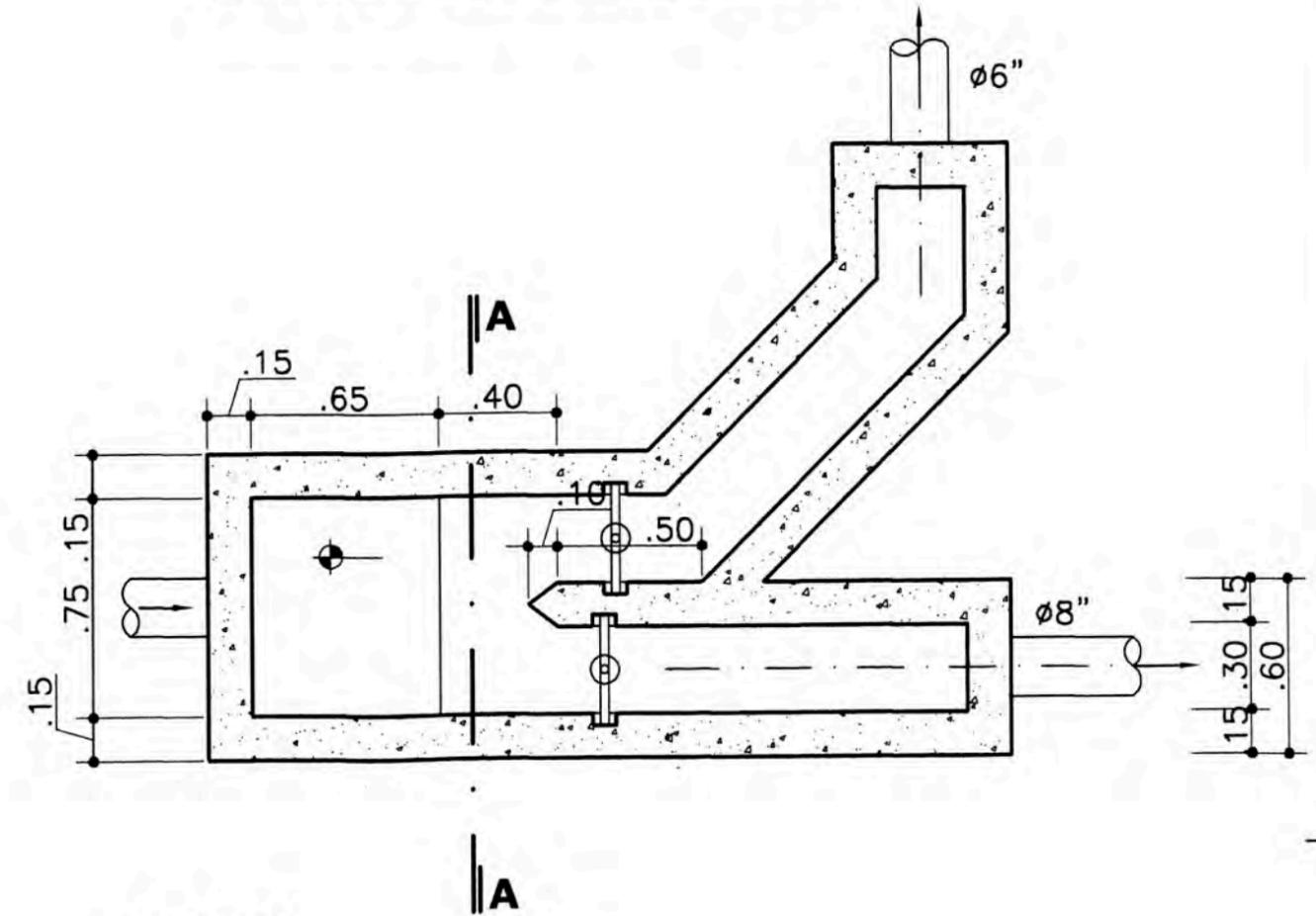


PLANTA
ESC. 1:25

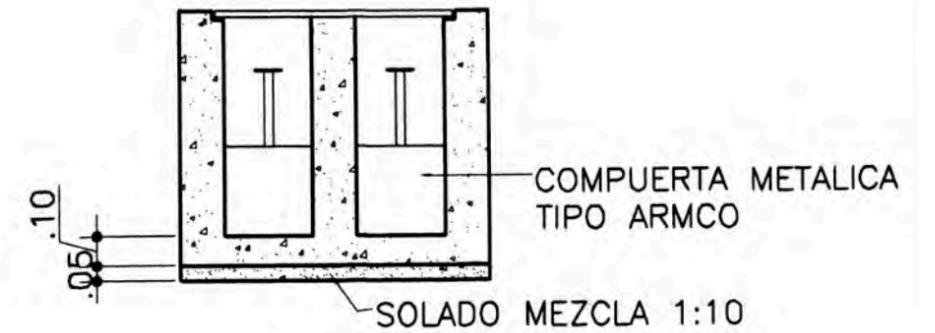


CORTE A-A
ESC. 1:25
COMPUERTA METALICA TIPO ARMCO
(Protejida C/Corrosion Marina)

CAMARA DE DISTRIBUCION

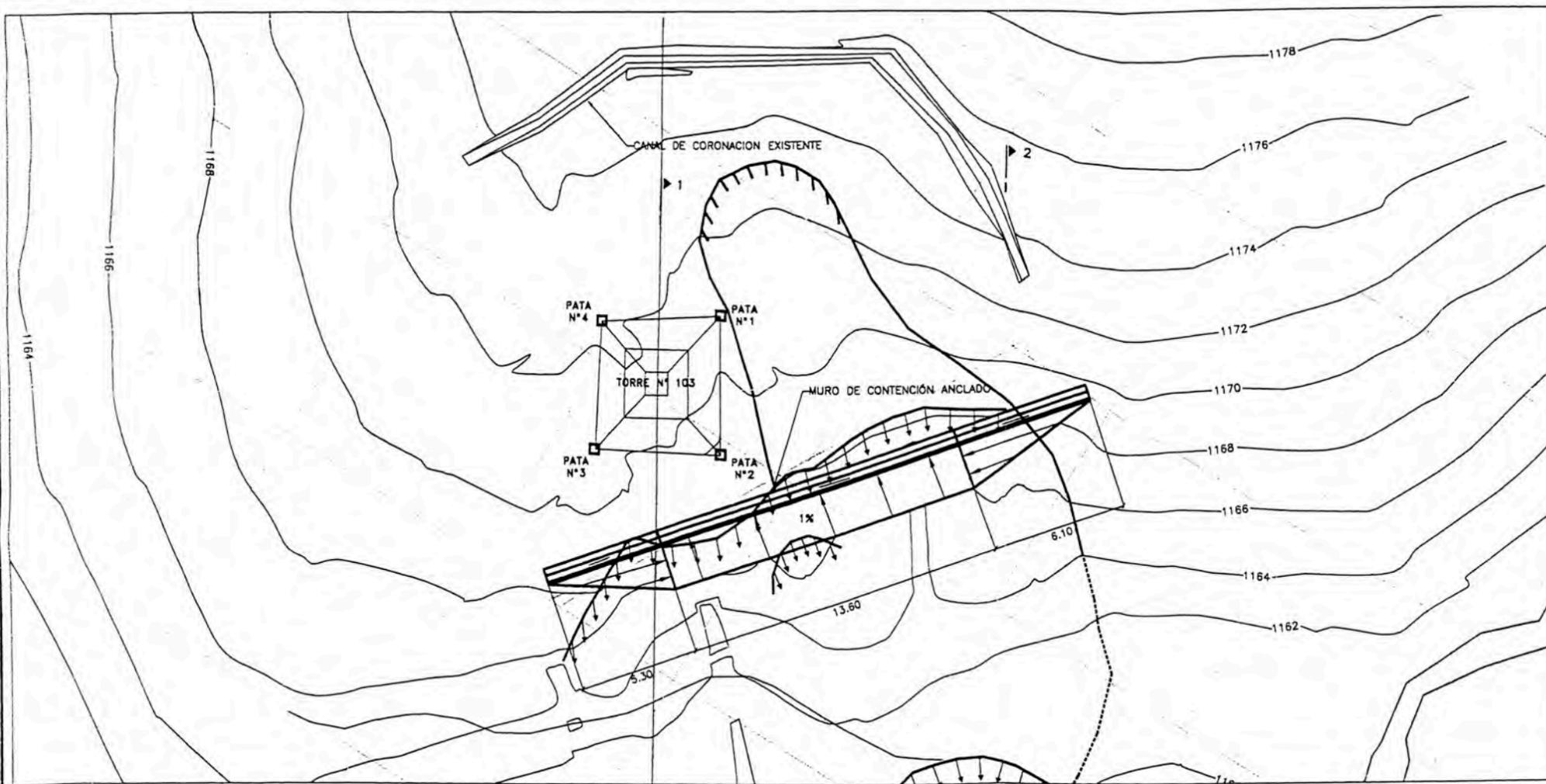


PLANTA
ESC. 1:25

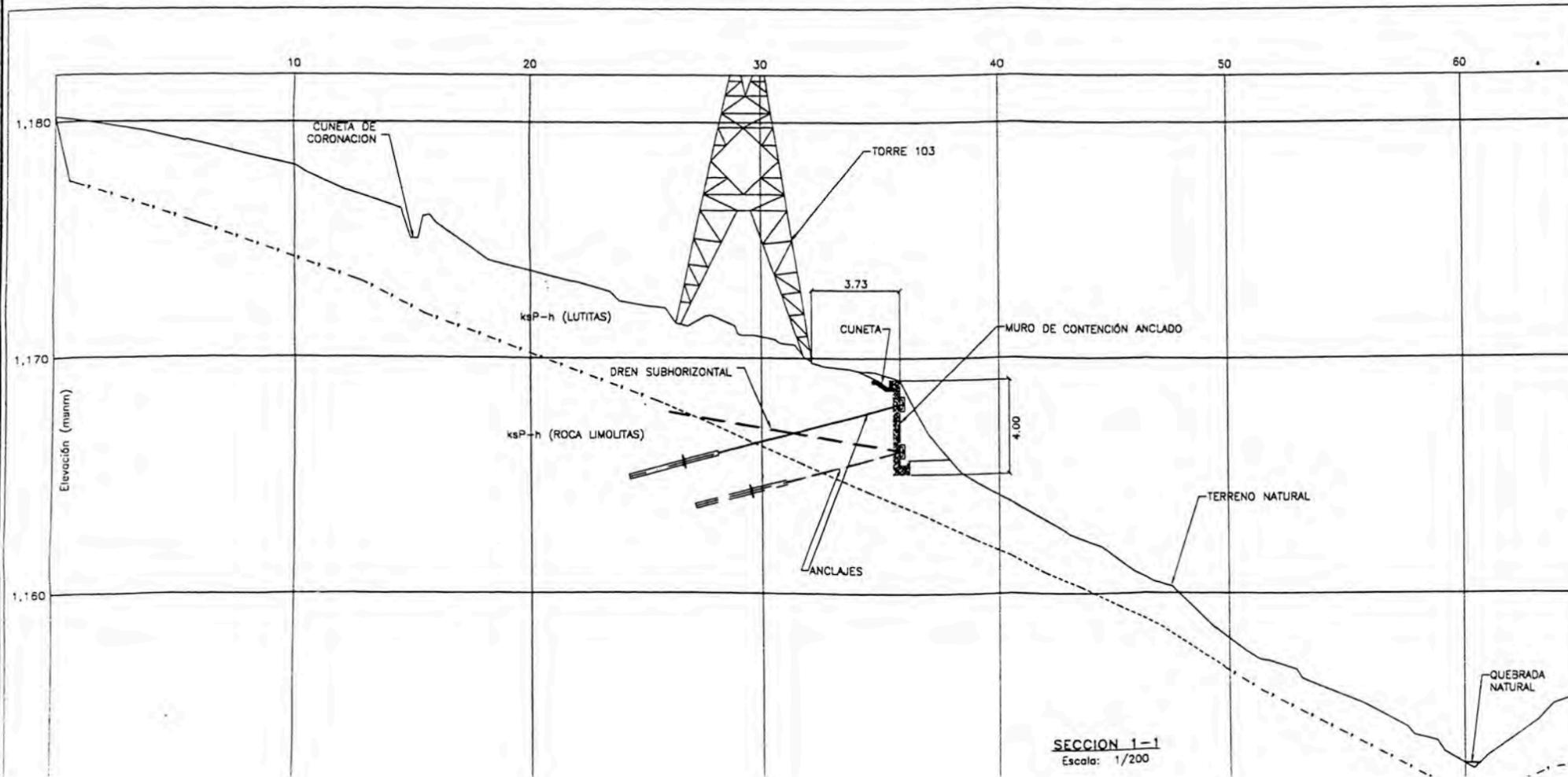


CORTE A-A

INFORME DE SUFICIENCIA: PLANTA DE TRATAMIENTO A.S. UNIPAMPA					
Diseñado por: Betzabé Alvino	Revisado por: Betzabé Alvino	Aprobado por: - fecha BAD - 19/04/07	Archivo PTAR	Fecha 19/04/07	Escala IND.
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			CAMARAS		
			PL-01-19-04-07	Edicion 0	PL-11



TORRE N°103
UBICACIÓN EN PLANTA
ESC 1/200



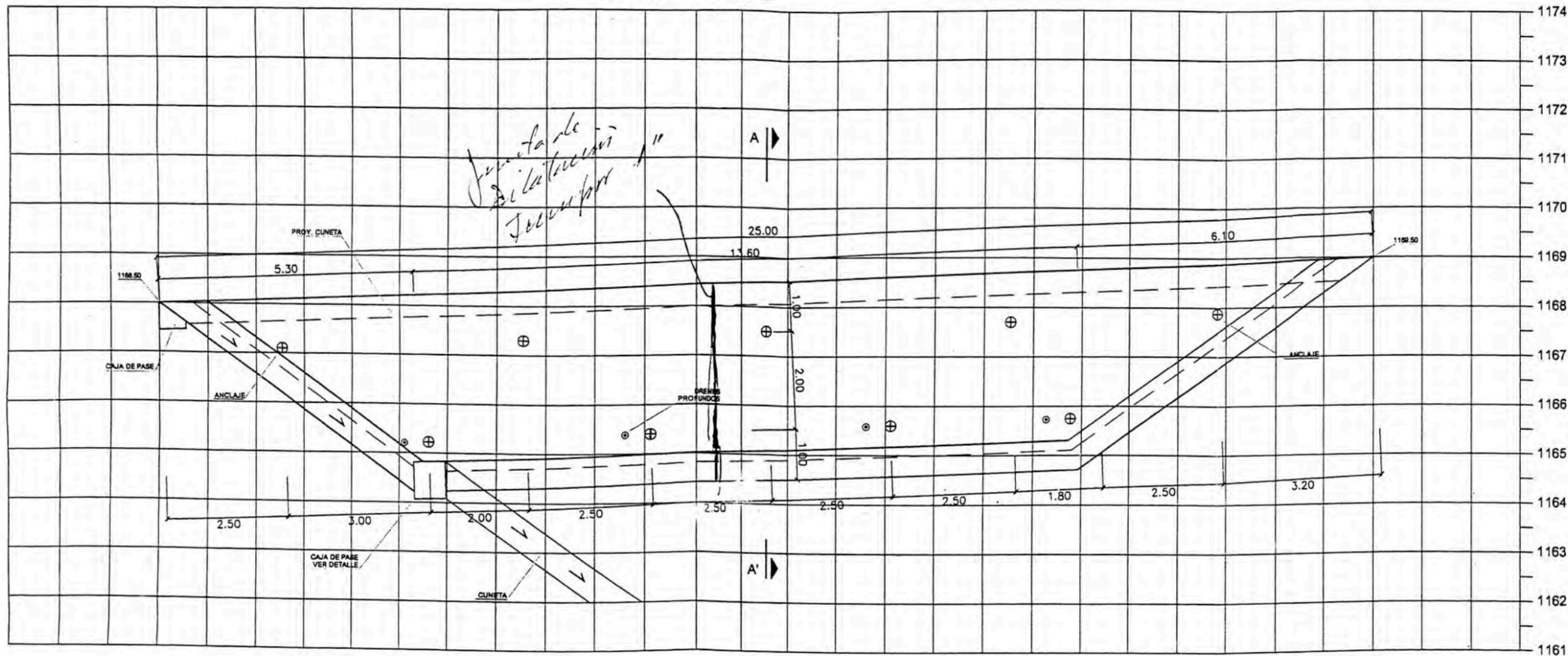
TORRE N°103
UBICACIÓN EN CORTE 1-1
ESC 1/200

- NOTAS:
1. LA UBICACIÓN DEL MURO ANCLADO PODRÁ VARIAR EN FUNCIÓN DE LAS REALES CONDICIONES DEL TERRENO.
 2. LA EXCAVACIÓN DEBERÁ REALIZARSE EN ETAPAS Y FRANJAS SEGUN LO INDIQUE EL ESPECIALISTA EN CAMPO.

NOMBRE DEL PROYECTO	
ESTABILIDAD DE TORRES DE TRANSMISION LINEA 251	
TITULO	TORRE N°103 MURO ANCLADO VISTA EN PLANTA Y PERFIL

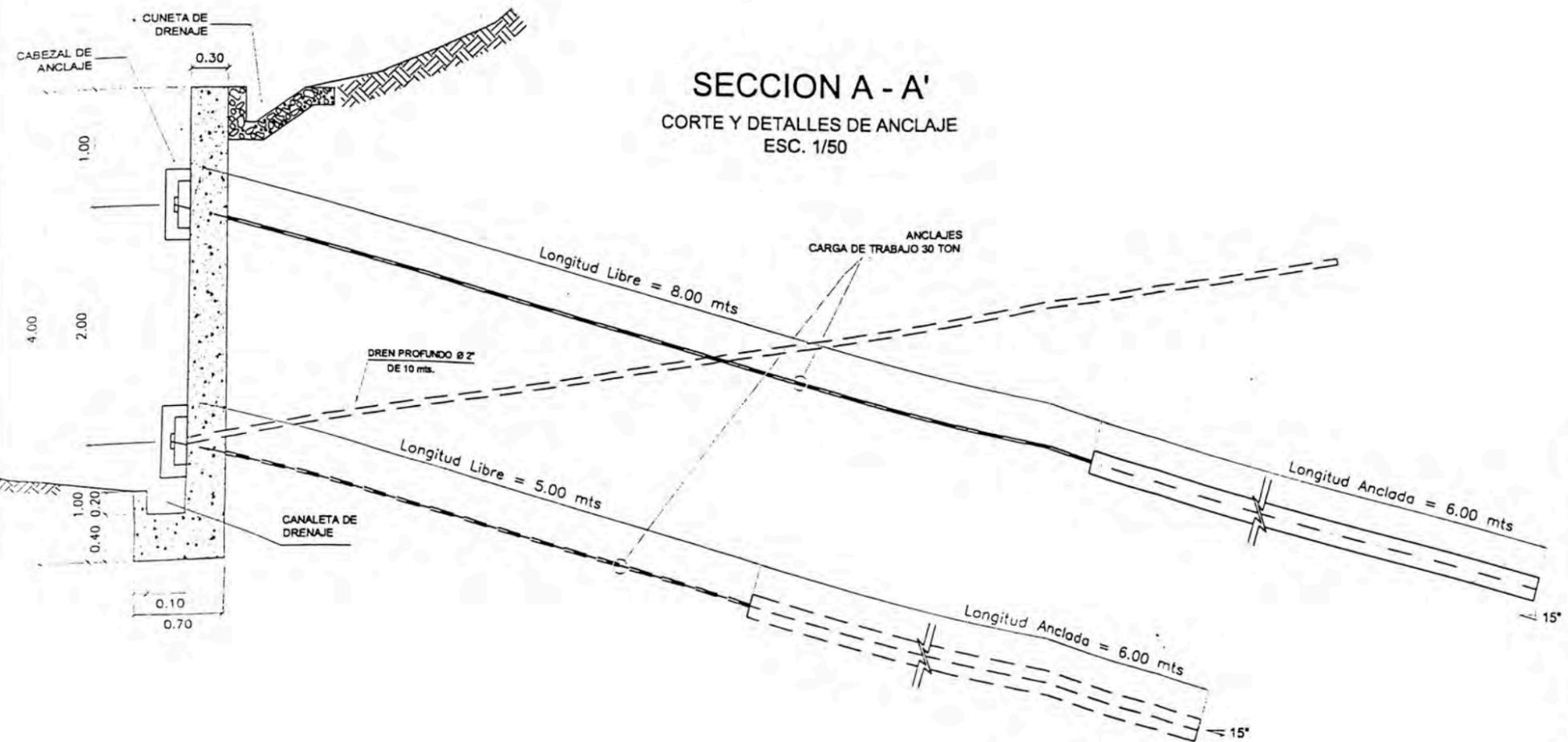
SECCION 1-1
Escala: 1/200

TORRE N°103



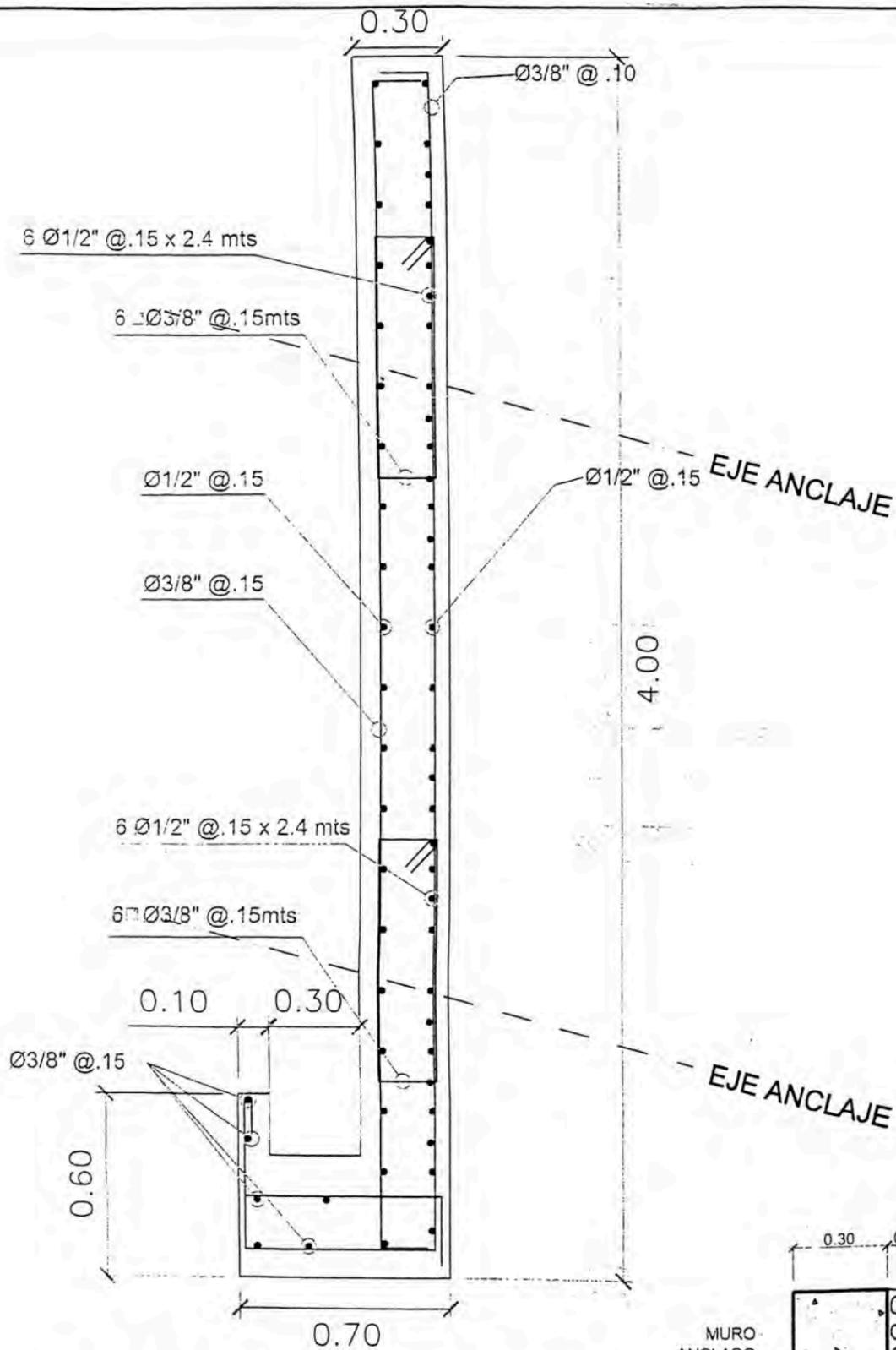
ESC 1/100

SECCION A - A'
CORTE Y DETALLES DE ANCLAJE
ESC. 1/50



- LEYENDA
- ⊕ ANCLAJES
 - ⊙ DREN PROFUNDO DE 10 mts.
 - - - PROYECCION DE CUNETETA

NOMBRE DEL PROYECTO			
ESTABILIDAD DE TORRES DE TRANSMISION LINEA 251			
TITULO		TORRE N°103	
MURO ANCLADO: VISTA FRONTAL Y SECCION TIPICA			
Hoja	G.M.M.	Escala	N° Plano
		INDICADAS	T103 - 02

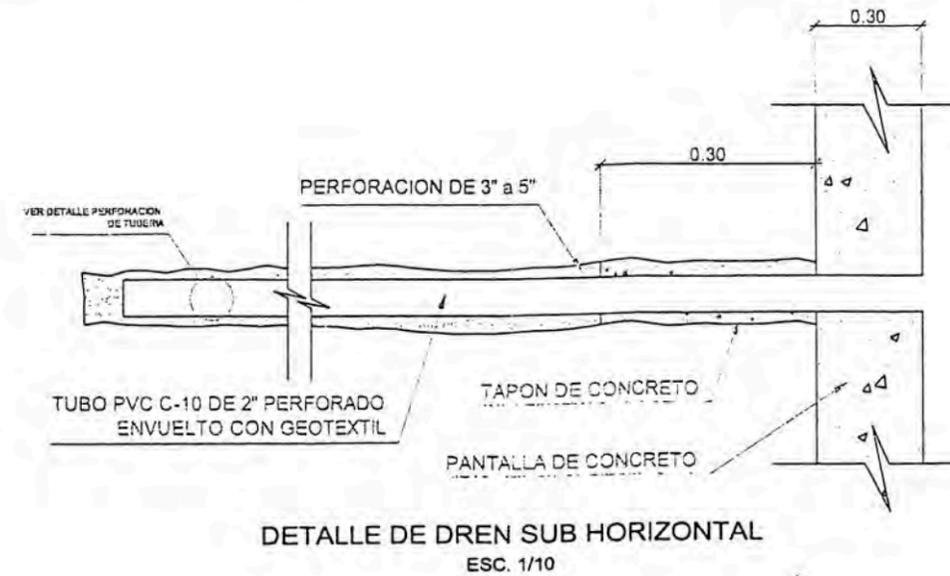


DETALLE DEL ACERO DE REFUERZO DEL MURO
ESC. 1/20

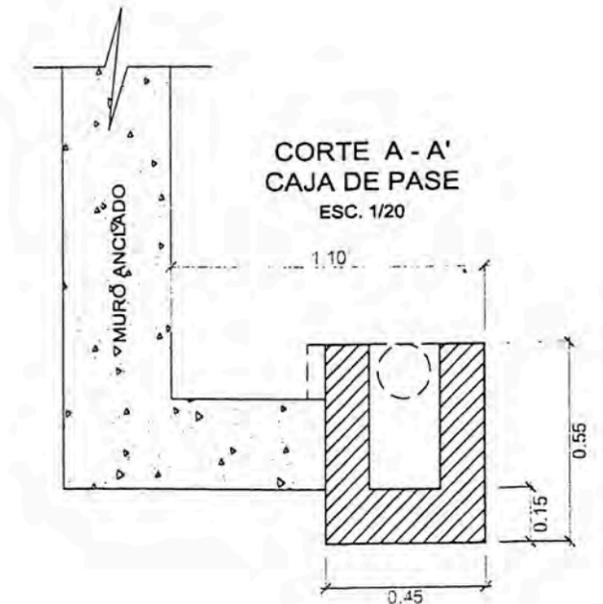
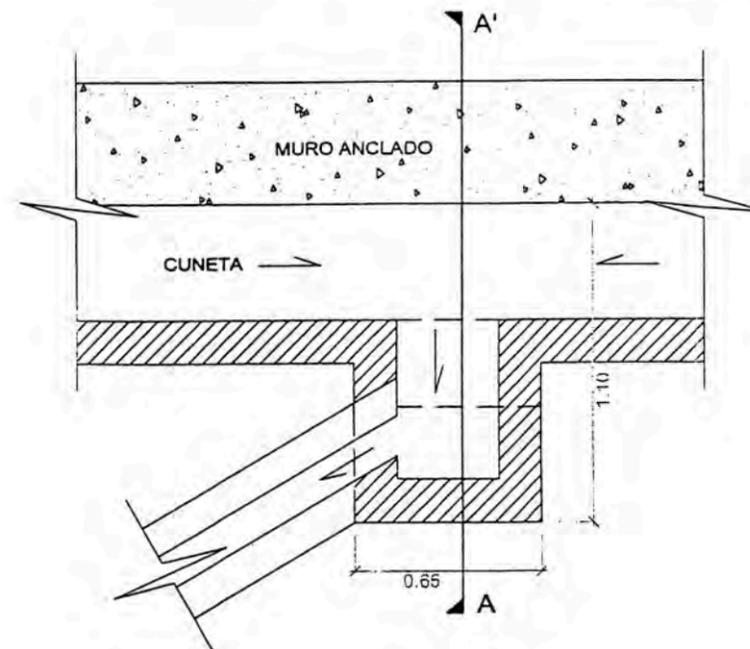
NOTAS:

1. LOS ANCLAJES TIENEN CARGA DE TRABAJO IGUAL A 30 TON
2. LAS DIMENSIONES MÍNIMAS PARA LA PLACA DE APOYO SON 20x20cm
3. EL CONCRETO ES DE FC=210 KG/CM²
4. EL ACERO DE REFUERZO ES DE FY=4200 KG/CM²
5. RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS:

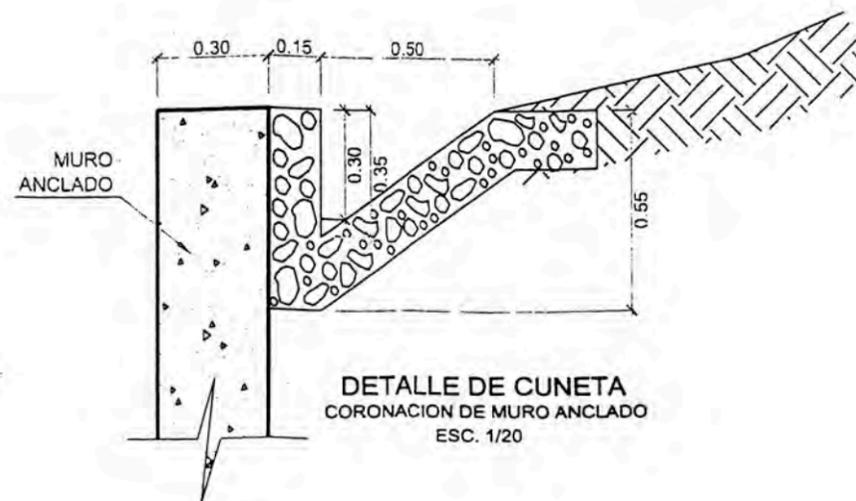
EN CONTACTO CON EL TERRENO = 7 CM
RESTO DE CASOS = 4 CM



DETALLE DE DREN SUB HORIZONTAL
ESC. 1/10



CORTE A - A'
CAJA DE PASE
ESC. 1/20



DETALLE DE CUNETETA
CORONACION DE MURO ANCLADO
ESC. 1/20

NOMBRE DEL PROYECTO					
ESTABILIDAD DE TORRES DE TRANSMISIÓN LINEAS 251/252					
TÍTULO					
PLANO DE DETALLES DE OBRAS CORRECTIVAS					
Diseñó	G.M.H.	Escala	INDICADAS	Nº Plano	Rev.
Revisó	C.A.A.F.	Fecha	OCT. 2004	T103 - 03	