

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**"GUÍA PRACTICA SIMPLIFICADA PARA LA CONSTRUCCIÓN Y SEGUIMIENTO  
DE OBRAS RELACIONADAS CON PANTALLAS ATIRANTADAS."**

**Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado  
su contenido con el resultado: .....**

J U R A D O   E X A M I N A D O R

Firma: ..... Firma: ..... Firma: .....  
Nombre: ..... Nombre: ..... Nombre: .....

REALIZADO POR

**Adriana Meneses Moreno.**

PROFESOR GUIA

**Julio J. Ramírez Salazar.**

FECHA

**Ing. Darío Cipriani.**

**10 de Octubre de 2.007.**



## TABLA DE CONTENIDOS

	Pag.
SECCIÓN PRELIMINAR	i
Agradecimientos .....	i
Tabla de Contenidos .....	ii
Índice de Figuras .....	v
Índice de Anexos .....	vi
Resumen .....	x
SECCIÓN INTRODUCTORIA	1
I. Objetivo General .....	1
II. Objetivo Específico .....	1
III. Alcance .....	1
IV. Introducción .....	2
Capítulo 1: CONSIDERACIONES PRELIMINARES A LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PANTALLA ATIRANTADA.	3
1.1. Problemas Geotécnicos en cuanto a la estabilización de taludes .....	3
1.2. Estudios y observaciones previas que se necesitan hacer para la solución de una problemática existente .....	8
1.2.1. Inspección Ocular .....	8
1.2.2. Levantamiento Topográfico .....	9
1.2.3. Exploración del Subsuelo .....	10
1.2.3.1. Calicatas .....	10
1.2.3.2. Perforaciones en suelo .....	10
1.2.3.2.1. Perforaciones de gran diámetro .....	10
1.2.3.2.2. Perforaciones de pequeño diámetro .....	11
1.2.3.2.3. Perforaciones en roca .....	12



**SECCIÓN PRELIMINAR.**

1.2.4. Ensayos de Laboratorio .....	12
1.3. Análisis y evaluación de alternativas .....	12
1.4. Diseño de la pantalla .....	13
1.4.1. Planos de proyecto .....	14
1.4.1.1. Plano topográfico .....	14
1.4.1.2. Plano de detalles .....	14
1.4.2. Especificaciones .....	15
1.4.2.1. Especificaciones de los materiales .....	15
1.4.2.2. Especificaciones constructivas .....	16
1.4.3. Elaboración de computos métricos con las diferentes partidas y sus cantidades estimadas .....	16
Capitulo 2: PROCESO CONSTRUCTIVO.	17
2.1. Preparación del terreno .....	17
2.1.1. Replanteo de la obra .....	17
2.1.2. Reperfilamiento del talud .....	17
2.2. Refuerzo de la pantalla .....	18
2.3. Concreto Proyectado (Shot-Crete) .....	19
2.3.1. Proyección .....	20
2.4. Perforación .....	24
2.5. Anclajes .....	25
2.5.1. Partes de un anclaje .....	27
2.5.1.1. Cabeza de anclaje .....	27
2.5.1.1.1. Base de apoyo .....	27
2.5.1.1.2. Plancha de acero .....	28
2.5.1.1.3. Cabezal de anclaje .....	28
2.5.1.1.4. Cuñas .....	28
2.5.1.1.5. Capuchón .....	29
2.5.1.2. Longitud libre .....	29
2.5.1.2.1. Tubo protector de plástico liso .....	29
2.5.1.2.2. Tubo protector de plástico liso para el conjunto de guayas .....	30
2.5.1.2.3. Disco separador de guayas .....	30
2.5.1.3. Zona de bulbo .....	30
2.5.1.3.1. Sello o tapón .....	30
2.5.1.3.2. Tubo de plástico corrugado .....	31



2.5.2. Colocación .....	33
2.5.3. Inyección .....	33
2.5.4. Tensado .....	35
2.5.4.1. Diagrama de tensado .....	38
2.5.4.2. Ejemplo del cálculo y aplicación del Diagrama de Tensado en un caso real .....	40
2.6. Protección contra la corrosión .....	43
2.7. Drenes y Barbacanas .....	44
2.7.1. Drenes .....	44
2.7.2. Barbacanas .....	45
2.8. Zapata de Fundación .....	45
Capitulo 3: CRITERIOS DE CONTROL.	46
3.1. A nivel de Preparación del terreno .....	46
3.1.1. Replanteo .....	46
3.1.2. Reperfilamiento .....	47
3.2. Anivel de Refuerzo de la Pantalla .....	48
3.3. A nivel de Concreto Proyectado .....	49
3.3.1. Control de la resistencia del concreto .....	50
3.4. A nivel de Perforación .....	51
3.5. A nivel de Anclajes .....	52
3.5.1. A nivel de Colocación del anclaje .....	53
3.5.2. A nivel de Inyección del anclaje .....	53
3.5.3. A nivel de Tensado del anclaje .....	55
3.5.4. Control de calidad del anclaje .....	58
3.6. Anivel de obra en General .....	63
Conclusiones .....	64
Referencias Bibliográficas .....	66



## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1: Proceso de preparación de la mezcla de Shot-Crete .....	20
FIGURA 2.2: Base de apoyo .....	27
FIGURA 2.3: Plancha de Acero .....	28
FIGURA 2.4: Cabezal de anclaje .....	28
FIGURA 2.5: Cuñas .....	28
FIGURA 2.6: Capuchón .....	29
FIGURA 2.7: Tubo protector de plástico liso .....	29
FIGURA 2.8: Tubo protector de plástico liso para el conjunto de guayas .....	30
FIGURA 2.9: Disco separador de guayas .....	30
FIGURA 2.10: Sello o Tapón .....	30
FIGURA 2.11: Tubo de plástico corrugado .....	31
FIGURA 2.12: Detalles de un anclaje .....	32
FIGURA 2.13: Proceso de inyección .....	34
FIGURA 2.14: Tabla de características del anclaje y guayas .....	40
FIGURA 2.15: Tabla de desplazamientos obtenidos a lo largo del proceso de tensado del anclaje .....	42
FIGURA 2.16: Diagrama de Tensado .....	43



## INDICE DE ANEXOS

ANEXO N° 1: Ejemplo de un plano de detalles de una Pantalla Atirantada ...	1
ANEXO N° 2: Rango de valores comunes para especificaciones de las distintas actividades que intervienen en una Pantalla Atirantada .....	2
ANEXO N° 3: Glosario de equipos necesarios para la ejecución de una Pantalla Atirantada	5
ANEXO N° 4: Imágenes Representativas referentes a la preparación del terreno en donde se construirá una Pantalla Atirantada .....	14
Anexo N° 4.1: Imagen Representativa de un punto suministrado por el topógrafo durante el replanteo .....	14
Anexo N° 4.2: Imagen Representativa de terreno contaminado que se debe remover antes de la construcción de una Pantalla Atirantada .....	14
Anexo N° 4.3: Imagen Representativa de la formación de bermas de apoyo .....	15
Anexo N° 4.4: Esquema de la generación de bermas de apoyo .....	15
Anexo N° 4.5: Imagen Representativa del reperfilamiento del talud a máquina .....	16
Anexo N° 4.6: Imagen Representativa del reperfilamiento del talud a mano .....	16
ANEXO N° 5: Imágenes Representativas de la construcción del Refuerzo metálico de la Pantalla Atirantada .....	17
Anexo N° 5.1: Imagen Representativa del armado del refuerzo metálico contenido en la pantalla .....	17
Anexo N° 5.2: Imagen Representativa que muestra en detalle la separación tanto vertical como horizontal entre las cabillas .....	17
Anexo N° 5.3: Imagen Representativa que muestra la separación entre las caras del refuerzo metálico contenido en la pantalla .....	18
Anexo N° 5.4: Imagen Representativa del elemento de soporte del refuerzo metálico en la pantalla .....	18
Anexo N° 5.5: Imagen Representativa del gancho separador de caras en el refuerzo metálico de la pantalla .....	19
Anexo N° 5.6: Imagen Representativa de la longitud de solape dejada durante el armado de un paño de refuerzo .....	19



Anexo N° 5.7: Imagen Representativa del replanteo de un punto donde se ubicará una perforación para un anclaje, dren o barbacana .....	20
ANEXO N° 6: Imágenes Representativas de la aplicación de concreto proyectado sobre el refuerzo metálico de la pantalla .....	21
Anexo N° 6.1: Imagen Representativa del tambor giratorio de una Gunitadora .....	21
Anexo N° 6.2: Imagen Representativa del orificio de salida de la mezcla seca en la Gunitadora .....	21
Anexo N° 6.3: Imagen Representativa de la incorporación del agua a la mezcla seca en la boquilla .....	22
ANEXO N° 7: Imágenes Representativas de sobre-volúmenes en el trasdós de una Pantalla Atirantada .....	23
Anexo N° 7.1: Imagen Representativa de sobre-volumen en el trasdós de una Pantalla debido a la presencia de grandes rocas ....	23
Anexo N° 7.2: Imagen Representativa de sobre-volumen en el trasdós de una Pantalla. Además se observa que el refuerzo es una combinación entre cabillas y tuberías de acero .....	23
ANEXO N° 8: Ejemplo de cálculo de un sobre-volumen teórico y porcentaje de rebote .....	24
ANEXO N° 9: Imágenes Representativas relacionadas con la proyección de Shot-crete .....	26
Anexo N° 9.1: Imagen Representativa de la proyección del concreto .....	26
Anexo N° 9.2: Correcta aplicación del concreto proyectado .....	26
Anexo N° 9.3: Movimiento circular que debe generarse al momento de proyectar .....	27
Anexo N° 9.4: Ángulo de la boquilla de la manguera con respecto a la Pantalla .....	27
Anexo N° 9.5: Reserva para el empotramiento de vigas y columnas .....	27
ANEXO N° 10: Imágenes Representativas del Proceso de Perforación .....	28
Anexo 10.1: Imagen Representativa de perforaciones finalizadas en donde se observa el material removido durante la perforación .....	28
Anexo 10.2: Muestra del material removido en la perforación .....	28
ANEXO N° 11: Certificado de calidad de las guayas de un Anclaje .....	29



ANEXO N° 12: Imágenes Representativas del Proceso de Inyección .....	32
Anexo N° 12.1: Imagen Representativa de la inyección de lechada ..	32
Anexo N° 12.2: Imagen Representativa del calafateo del espacio anular entre el anclaje y la perforación .....	32
Anexo N° 12.3: Imagen Representativa de sellado del tubo de inyección .....	33
 ANEXO N° 13: Imágenes Representativas del proceso de Tensado .....	 34
Anexo N° 13.1: Imagen Representativa de cabezal y cuñas de Anclaje. Se observa la pintura anticorrosiva en las guayas .....	 34
Anexo N° 13.2: Imagen Representativa de colocación de cabezal y cuñas de tensado .....	 34
Anexo N° 13.3: Imagen Representativa de gato hidráulico con la carga de acomodo aplicada .....	 35
 ANEXO N° 14: Imágenes Representativas del anclaje terminado con sus protecciones anticorrosivas .....	 36
 ANEXO N° 15: Imágenes Representativas de la aplicación de drenes .....	 37
Anexo N° 15.1: Imagen Representativa de un dren en el cual se observa en su interior una perforación .....	 37
Anexo N° 15.2: Imagen Representativa de un dren en el cual se observa la tela de geotextil permeable.....	 37
 ANEXO N° 16: Imágenes Representativas de la ejecución de la zapata de fundación	 38
Anexo N° 16.1: Imagen Representativa del proceso de armado del refuerzo de la zapata .....	 38
Anexo N° 16.2: Imagen Representativa de la zapata de la pantalla una vez terminada .....	 38
 ANEXO N° 17: Imágenes Representativas de un clisímetro .....	 39
 ANEXO N° 18: Planilla de control para el cálculo de sobre-volúmenes .....	 40
 ANEXO N° 19: Imágenes Representativas de la toma de muestras de core- drill para el control de la resistencia del concreto proyectado.....	 42
Anexo N°19.1: Imagen Representativa de la probeta normalizada que sirve para tomar muestras de concreto proyectado .....	 42
Anexo N°19.2: Imagen Representativa de la toma de muestras en probeta normalizada .....	 42



ANEXO N° 20: Planilla de control del concreto proyectado .....	43
ANEXO N° 21: Ejemplo de ensayo de compresión de núcleos de concreto (Core-drill) .....	44
ANEXO N° 22: Planilla de control de perforación .....	46
ANEXO N° 23: Plano esquemático de rigidización de anclajes entre el trasdos de la pantalla y el talud existente .....	47
ANEXO N° 24: Planilla de control de inyección .....	48
ANEXO N° 25: Ejemplo de calibración del gato hidráulico .....	49
Anexo N° 26: Imagen Representativa del manómetro contenido en el gato con sus respectivas unidades .....	51
ANEXO N° 27: Planilla de control de tensado .....	52
ANEXO N° 28: Imágenes Representativas de una celda de carga .....	53
Anexo N° 28.1: Imagen Representativa del disco central de la celda de carga donde se encuentra contenido el líquido calibrado .	53
Anexo N° 28.2: Imagen Representativa del segundo anillo de transferencia .....	54
Anexo N° 28.3: Imagen Representativa del manómetro incorporado a la celda de carga .....	54
ANEXO N° 29: Planilla para el control de celdas de carga .....	55
ANEXO N° 30: Imagen Representativa de un cabezal de destensado .....	56



## RESUMEN.

---

Uno de los problemas más frecuentes en el área de la Ingeniería Geotécnica está referido a la estabilización de taludes. En Caracas son pocos los terrenos en donde no se necesita modificar una topografía montañosa original. A raíz de estas modificaciones en los terrenos, se generan zonas en donde por diferentes causas, tanto antrópicas como naturales, dan origen o activan fallas en el suelo que se pueden traducir en problemas de estabilización. En el caso que el movimiento de una masa de tierra sea violento, habrá que recurrir a obras de emergencia mientras se realiza el diseño definitivo del proyecto.

Tanto para la realización de obras provisionales como permanentes, deberán realizarse ciertos estudios fundamentales, tales como: visita al sitio, levantamiento topográfico, exploración del subsuelo en campo, ensayos de laboratorios a muestras del subsuelo, etc., que permitan conocer la magnitud del problema y orienten a la solución de estabilización.

Una de las alternativas que existen para solucionar inconvenientes de estabilidad son las llamadas Pantallas Atirantadas, estructuras de contención vinculadas a tierra por medio de unos anclajes. Su diseño es responsabilidad del Ingeniero Projectista, el cual elabora los planos de proyecto dentro de los que se encuentran las especificaciones constructivas.

Para iniciar la construcción de una pantalla es necesario conocer algunos puntos de referencia en campo, los cuales son suministrados por un topógrafo. Según sea el caso de la construcción de la pantalla, puede o no modificar la topografía original del talud donde se va a establecer, en ambos casos habrá que reperfilear el terreno y eliminar todo el material no deseado, ya que es primordial que la estructura se apoye en el terreno más apto posible.



El refuerzo metálico de la pantalla gracias a la versatilidad de la misma, puede construirse por diversos elementos, entre ellos: cabillas, micropilotes, perfiles metálicos, una combinación de ellos, etc. Como recubrimiento para el refuerzo generalmente se usa concreto proyectado para el cual se deberán tener materiales adecuados y equipos en buen estado.

A medida que se realiza la pantalla también se van ejecutando los anclajes que son elementos de tracción de dimensiones variables colocados dentro de perforaciones realizadas a lo largo del muro según las especificaciones.

Una vez colocados se les inyecta una lechada que permite la consolidación del terreno donde se ubicará el anclaje, el cual al momento de ser tensado generará la fricción necesaria para anclar la pantalla a tierra y evitar que se genere un deslizamiento. Todos los elementos que componen el anclaje se deberán proteger de los efectos de la corrosión.

A lo largo de la ejecución de la obra se realizarán controles que garanticen la permanencia de la misma en el tiempo; estos controles pueden ser internos, realizados por la empresa contratista, o los usuales que realiza una inspección especializada.



## *SECCIÓN INTRODUCTORIA.*

---

### **I. Objetivo General.**

Seguimiento del proceso constructivo de una Pantalla Atirantada como solución para problemas de estabilidad, estableciendo criterios de control en cada una de las etapas en las que se divide la ejecución de la obra.

### **II. Objetivo Específico.**

Elaboración de guía sistemática del Proceso Constructivo y Criterios de Control durante la ejecución de obras relacionadas con Pantallas Atirantadas.

### **III. Alcance.**

Se investigará sobre el tema recurriendo a bibliografía actualizada y a profesionales especializados en el tema que puedan brindar información.

Se hará seguimiento a la ejecución de una estructura específica que servirá como ejemplo para conocer cada detalle de la construcción de una pantalla atirantada.

Se estudiarán los criterios de construcción para cada etapa de dicho proceso.



#### **IV. Introducción.**

La estabilización de un talud, ya sea por algún evento geológico ocurrido o por ocurrir, es el principal propósito de la aplicación de obras de estabilización, sin embargo, la elección de dicha solución, conlleva un estudio de alternativas basado en las condiciones observadas, en una visita al sitio, en estudios geotécnicos, en la factibilidad de su ejecución, entre otros. Luego de dicha elección se procederá al diseño y proyecto de la misma, originando los planos, normas y especificaciones a seguir.

En el caso que nos ocupa la solución de estabilización será una Pantalla Atirantada, a la cual se hará un seguimiento donde se observarán las diferentes etapas constructivas. A raíz de esta experiencia, se describirán de forma secuencial los procesos constructivos, así como los criterios de control necesarios para su correcta ejecución; por lo que el contenido de este trabajo es eminentemente práctico. Esta pantalla forma parte de un desarrollo urbanístico que ha sido concebido con suficiente antelación, lo cual permite un análisis detallado de todas las variables que pudieran intervenir en su diseño.

Cabe destacar que a pesar de que la información que se obtendrá es de una pantalla en particular, se tratará de llevar a una forma general con la finalidad de que sirva como una guía práctica y secuencial.



Capítulo 1: CONSIDERACIONES PRELIMINARES A LA  
CONSTRUCCION DE UNA PANTALLA ATIRANTADA.

---

**1.1. Problemas Geotécnicos en cuanto a estabilización de taludes.**

Los mejores terrenos de las urbanizaciones existentes en Caracas casi han desaparecido por completo, y a menos que se demuelan los inmuebles ubicados en las mejores áreas de dichas urbanizaciones, hoy en día es bastante complejo ubicar nuevos terrenos que sean seguros desde el punto de vista geotécnico para los promotores inmobiliarios, sin que antes se tengan que invertir importantes sumas de dinero para lograr el acondicionamiento y desarrollo de nuevas obras con muy bajo riesgo (Centeno Pulido, Francisco; 2000). Asimismo la falta de viviendas, y la cantidad de habitantes que desean vivir en la zona capital, origina que la población busque lugares para ubicar sus residencias que no son aptos desde el punto de vista geotécnico y geológico. Bien sea por la necesidad de acondicionar nuevos terrenos o de reparar los que han sido motivo de un problema geotécnico, es primordial la estabilización de taludes.

El término problema geotécnico se refiere a situaciones que modifican las condiciones naturales propias de alguna gran masa de suelo, y que pueden generar riesgos tanto a estructuras como al medio ambiente en general.

Uno de los problemas geotécnicos más comunes son aquellos relacionados con la estabilización de taludes, ya sea por deslizamientos, derrumbes, desprendimientos, repteo, entre otros, de masas de suelo. La ocurrencia de estos hechos genera incertidumbre en su predicción, sin embargo, existen ciertos patrones que ayudan a identificar y reconocer la posible área de



falla, lo cual permite el tratamiento del talud para reducir o eliminar a un mínimo el riesgo.

La falla de un talud es un proceso inducido que el hombre puede acelerar o retardar. Una de las razones de que se originen estas fallas es que se aumente el *esfuerzo propio del suelo* o se *reduzca la resistencia al corte del mismo*. Algunas de las causas más comunes de origen antrópico son:

#### **Causas de aumento del esfuerzo al corte por origen antrópico:**

- Sobrecarga sobre la cresta de un talud causada por la construcción de carreteras y terraplenes de rellenos.
- Aplicación de presiones laterales como consecuencia de la elevación del nivel de agua subterráneo por efecto de represamiento.
- Aplicación de fuerzas de vibración provenientes de actividades de construcción y de operación de equipos de construcción u operación en fábricas cercanas a la cresta de un talud.
- Remoción del soporte lateral por el corte efectuado al pie de un talud.

#### **Causas de reducción de la resistencia al corte por origen antrópico:**

- Drenajes inadecuados que descargan importantes cantidades de agua de escorrentía y de aguas negras o blancas en el cuerpo del talud.



- Obras de pilotaje en las cercanías de la cresta o pie de un talud con uso de cincel en zonas de rocas meteorizadas muy descompuestas y fracturadas.
- Flujos de aguas negras provenientes de otros sectores que con el tiempo van meteorizando y alterando la calidad de los estratos donde se ubican viviendas y otras obras.

También existen diferentes condiciones naturales que pueden disparar un deslizamiento. Los deslizamientos en los taludes están condicionados a suceder cuando ocurren reducciones o aumentos importantes en el esfuerzo al corte.

**Los factores naturales que tienden a producir un aumento en el esfuerzo al corte son entre otros:**

- Remoción del soporte lateral en pie de un talud causada por la erosión hidráulica de las márgenes de un río o quebrada.
- Remoción del soporte lateral en pie de un talud causado por un corte sin adecuado control ni previsión de obras de retención temporales y/o definitivas.
- Sobrecargas causadas por la acumulación de materiales provenientes de otros derrumbes que se acumulan sobre la cresta de taludes.
- Aplicación de fuerzas de vibración causadas por un terremoto.



**Los factores naturales que tienden a reducir la resistencia al corte en condiciones naturales son entre otros:**

- La presencia de discontinuidades en la masa de roca y activación de fallas.
- La meteorización de las rocas y la disminución de las propiedades de los materiales como la cohesión y el ángulo de fricción interna.
- Incremento del contenido de humedad o de la presión de poros en los materiales que constituyen el plano de falla de un deslizamiento. (Centeno Pulido, Francisco; 2000)

Existen varias formas en la cuales los taludes pueden fallar; estas dependen, entre otras, del ángulo de inclinación del talud con respecto al plano horizontal, del contenido de agua y/o posición del nivel freático, del tipo de material (suelo o roca) que integra el subsuelo del talud (cohesión, ángulo de fricción interna y peso unitario de los distintos estratos), de factores ambientales como las lluvias y de fenómenos naturales como los sismos.

Los movimientos de masa (deslizamientos y corrimientos de masa) pueden suceder repentina y catastróficamente, generando como resultado flujos importantes de materiales que avanzan o se dirigen hacia la base del talud. También, si el talud está integrado por roca y la misma presenta discontinuidades rellenas con materiales de suelo que la hacen débil en función de la inclinación, buzamiento, diaclasado y fracturamiento, así como con el contenido de agua; pueden ocurrir caídas de bloques y de lajas repentinamente. Los movimientos también pueden suceder lentamente y en forma progresiva, donde se van acumulando deformaciones importantes que se reflejan en la





superficie del talud hacia la parte superior, el pie, las zonas cercanas a la corona y los flancos laterales del mismo. (Centeno Pulido, Francisco; 2000)

Entre los daños visibles que se ocasionan a las estructuras, como consecuencia de deformaciones ocurridas en los terrenos durante los deslizamientos de taludes, podemos encontrar:

- **Daños a la arquitectura:** Normalmente este tipo de daño afecta a la apariencia de las estructuras, y está asociado a la ocurrencia de grietas menores en paredes, pisos, losas y acabados en los materiales de construcción de una edificación.
- **Daños funcionales o servicapacidad de una estructura:** Este tipo de daños normalmente afecta a las estructuras de una edificación, de una manera tal que no pueden ser utilizadas normalmente como cuando fueron proyectadas y construidas.
- **Daños estructurales:** Este es el tipo de daño más importante y generalmente afecta la estabilidad de las edificaciones. Normalmente deformaciones del terreno producen distorsiones angulares importantes y significativas, que afectan la estabilidad de los sistemas estructurales tales como vigas, columnas, losas, muros de retención y fundaciones.
- **Daños por vicios ocultos:** Generalmente representan debilidades latentes que se encuentran presentes en miembros estructurales importantes de una edificación. Las debilidades surgen como consecuencia de un mal diseño estructural, de un mal proceso constructivo y de una inspección que no hizo respetar los criterios de



diseño, ni controló la calidad de los materiales empleados. (Centeno Pulido, Francisco; 2000)

En el caso de que los eventos geotécnicos ocurran de forma impredecible y rápida, es necesaria la implementación de obras de emergencia, para detener el movimiento del suelo mientras se estudia la solución definitiva. Algunas de estas soluciones de emergencia pueden ser: pantallas claveteadas, cortina de micro-pilotes, desvincular la estructura del suelo, demolición de estructuras complementarias (terrazas, piscinas) para disminuir el peso, desalojo de viviendas, etc.

## **1.2. Estudios y observaciones previas que se necesitan hacer para la solución de una problemática existente.**

### **1.2.1. Inspección ocular.**

Para determinar la mejor solución al problema, es necesario tener una clara idea de los daños ocurridos o los posibles daños que puedan suceder en caso de no tomar previsiones rápidas. La mejor forma de contar con esta información es realizar una visita al sitio.

Entre las actividades que se deben realizar al momento de la inspección ocular se tienen:

- Inspección del sitio de trabajo.
- Cercanía de taludes.
- Información sobre el drenaje de la zona y sobre el nivel freático.
- Situación de cursos de agua.
- Observación de cárcavas presentes en la zona.



- Dificultades topográficas.
- Información sobre estructuras cercanas y sus características, incluyendo la posibilidad de información del estudio de suelos respectivo.
- Inspección del comportamiento y estado actual de esas estructuras.
- Presencia y tamaño de grietas, dirección del movimiento.
- Observación de síntomas de suelos expansivos. (Pérez Guerra, J. Bernardo; 2000)

### 1.2.2. Levantamiento topográfico.

Los levantamientos topográficos se realizan con el fin de determinar la configuración del terreno, cotas, desniveles, estructuras colindantes y dimensiones de elementos naturales. Corresponderá al proyectista, indicarle al topógrafo los linderos del levantamiento y las zonas que requieran de un mayor detalle del levantamiento topográfico.

En base al levantamiento topográfico, el proyectista tomará las secciones en los sectores que él considere más significativos; en este plano se ubicarán los puntos donde se efectuarán los sondeos exploratorios y toma de muestras.

Éste levantamiento muestra la topografía original, la cual se contrastará una vez finalizada la obra con la topografía modificada, dando origen a los volúmenes de tierra removidos.

En algunos casos es necesaria la intervención de un geólogo, el cual determinará los distintos planos de foliación de los estratos con sus respectivas orientaciones, rumbos, buzamientos y características del material observado.



### **1.2.3. Exploración del subsuelo.**

Los métodos usuales de exploración para definir el perfil litológico-geotécnico, incluyen la apertura de calicatas y el sondeo por perforaciones.

#### **1.2.3.1. Calicatas.**

Consiste en excavar una fosa de dimensiones suficientes, para que un técnico pueda directamente bajar y examinar los diferentes estratos de suelo en su estado natural, así como obtener datos sobre las características físicas del material, la estabilidad de las paredes de la excavación, nivel freático, etc. (Juárez Badillo y Rico Rodríguez; 2004)

El número de calicatas a realizar dependerá de la homogeneidad del terreno, de la dimensión de la parcela de estudio, del grado de detalle que se pretenda alcanzar y de la disponibilidad de otros métodos de análisis.

#### **1.2.3.2. Perforaciones en suelo.**

Las perforaciones constituyen el método más común de investigar las características del suelo a profundidad, y de obtener las muestras necesarias para los ensayos de laboratorio. El tipo, número y profundidad de las perforaciones, varía con las características supuestas del suelo y con el proyecto de estructura que se estudia. Se pueden clasificar en:

##### **1.2.3.2.1. Perforaciones de gran diámetro.**

Hay casos en que las condiciones del lugar de que se trata y de las características de la estructura, hacen conveniente la apertura de huecos hechos



con las mismas máquinas rotativas usadas para la construcción de pilotes vaciados en sitio. Estas excavaciones mayormente se aplican para establecer el nivel freático presente. De igual manera permiten juzgar sobre el comportamiento de las paredes de la excavación para establecer la necesidad del uso de camisas o lodo bentonítico. A veces es interesante tomar muestras en bloque del fondo de la perforación a diferentes profundidades, para lo cual se puede usar un muestreador cualquiera, lo cual nos permite conocer la presencia de diferentes tipos de suelo. (Pérez Guerra, J. Bernardo; 2000)

#### **1.2.3.2.2. Perforaciones de pequeño diámetro.**

Se pueden ejecutar por percusión o rotación; las muestras se obtienen con un muestreador de pared gruesa que se hincan en el fondo con un martillo operado desde la superficie. Esta operación permite la ejecución simultánea de una prueba de penetración en sitio cuando se lleva a cabo con un muestreador de ciertas características, y según un procedimiento establecido por las normas ASTM.

Este ensayo de penetración consiste en contar el número de golpes de un martillo de peso y caída determinada, para hacer penetrar el muestreador una longitud también especificada. El ensayo se conoce universalmente como SPT por las siglas del nombre del ensayo en el idioma en inglés (Standard Penetration Test).

Esta muestra de SPT permite la clasificación del suelo respectivo. En el caso de materiales cohesivos de consistencia adecuada, las muestras producen tacos de dimensiones tales que facilitan el ensayo de compresión sin confinar. Naturalmente, como se trata de muestras perturbadas, los resultados son,



probablemente, inferiores al valor verdadero en el suelo natural, pero dan una idea aproximada de su resistencia. (Pérez Guerra, J. Bernardo; 2000)

#### **1.2.3.3. Perforaciones en roca.**

Frecuentemente es necesario efectuar perforaciones en roca para determinar su carácter y condición, tomando muestras mediante un core-drill al cual se le aplicarán los ensayos necesarios para determinar los parámetros de resistencia utilizados en análisis y cálculos.

#### **1.2.4. Ensayos de laboratorio.**

Todas las muestras extraídas en campo deberán ser clasificadas, analizadas y descritas en el laboratorio.

La primera actividad de laboratorio consiste en la inspección visual y táctil de las muestras recibidas. Esta actividad junto con el resto de los ensayos de laboratorio necesarios, permiten conocer las condiciones geomecánicas del suelo, es decir, su clasificación, origen, propiedades índice y propiedades mecánicas.

### **1.3. Análisis y Evaluación de Alternativas.**

Después de conocer todas las características mecánicas del suelo y/o roca de la zona a estabilizar, y con base en el levantamiento topográfico, se comienzan a evaluar las diferentes soluciones geotécnicas. Algunas de estas soluciones podrían ser muros de gaviones, muros de tierra armada, muros de contención, muros colados, pantallas atirantadas, entre otros.



De todas estas alternativas se escoge la más factible evaluando el factor costo-beneficio y la que mejor se adapte a las condiciones del sitio de trabajo.

En el caso que nos ocupa se estudiará una solución geotécnica que consiste en la ejecución de una Pantalla Atirantada.

Las Pantallas Atirantadas son sistemas estructurales de estabilización que permiten introducir solicitaciones externas a un talud, con el propósito de incrementar su estabilidad. Dichas pantallas están constituidas por: el sistema de anclajes y la losa de concreto armado que contiene el talud. (Rodríguez, Nelson; 1988)

#### **1.4. Diseño de la Pantalla.**

El diseño de la pantalla se inicia una vez que se ha determinado, mediante apropiados análisis de estabilidad, la magnitud de la carga externa que debe ser aplicada por un sistema de anclajes, necesaria para proveer el factor de seguridad requerido para el talud. Este aspecto queda fuera del alcance del presente trabajo.

Generalmente, el diseño definitivo del sistema estructural Pantalla Anclada exige una etapa de optimización técnica-económica, ya que las soluciones teóricamente equivalentes son muchas, pudiéndose combinar el espaciamiento de los anclajes con su carga de trabajo, para conseguir la fuerza de estabilización total requerida que incremente el factor de seguridad.

En este proceso de estabilización técnica-económica, interviene también la losa de concreto, toda vez que sus características estructurales de espesor y



refuerzo están íntimamente ligadas a los mencionados parámetros de carga y separación de los anclajes.

Como tercer elemento interviene el terreno de apoyo y las propiedades del macizo de roca y/o suelo, para la definición completa del comportamiento estructural del conjunto terreno-pantalla-anclajes. (Rodríguez, Nelson; 1988)

### **1.4.1. Planos del Proyecto.**

#### **1.4.1.1. Plano topográfico.**

Es la ubicación plano-altimétrica de la obra de estabilización, en este plano estarán ubicadas las estructuras circundantes, cotas, altura de pantalla, desniveles entre bermas y cresta, coordenadas geográficas, curvas de nivel, información geotécnica incluyendo cortes y caracterización, etc.

#### **1.4.1.2. Plano de detalles.**

Como se puede observar en el anexo # 1, este plano deberá contener:

- Alzada de la pantalla; donde se identifiquen los diferentes tipos de anclajes mediante diversos símbolos (identificando filas y ejes), las separaciones horizontales y verticales, ubicación de barbancas y drenes, cotas de cresta, de zapata, de líneas de anclajes y progresivas.
- Cortes significativos donde se representen alturas, espesores de pantalla, tipo de anclaje, separación vertical, longitud total, longitud de drenes, detalles de zapata, longitud de bulbo, ángulo



de inclinación del anclaje con respecto a la horizontal, detalle de la armadura de acero (separación horizontal y vertical), diámetro del acero, diámetro de cara anterior y posterior de la parrilla.

- > Leyenda de especificaciones con respecto a los materiales.
- > Notas con respecto a métodos constructivos o requerimientos del proyectista.

### **1.4.2. Especificaciones.**

Este renglón se puede dividir en especificaciones de los materiales y especificaciones constructivas.

#### **1.4.2.1. Especificaciones de los materiales.**

Debe contener las especificaciones técnicas para cada uno de los materiales que se usarán en la construcción de la pantalla (Ver anexo # 2):

- > Concreto proyectado.
- > Concreto mezcla húmeda.
- > Refuerzos de la pantalla (cabillas, perfiles, tubos de acero, malla electro-soldada, etc.).
- > Guayas.
- > Drenes y barbacanas.
- > Planchas de apoyo.
- > Anclajes y los distintos elementos que lo conforman.



#### **1.4.2.2. Especificaciones constructivas.**

Corresponderá a cada solución de estabilización una secuencia constructiva específica, la cual será indicada en algunas notas que pueden estar en los planos, o en las especificaciones generales del proyecto. Estos detalles generalmente se refieren a la ejecución de las plataformas sucesivas, de donde se hacen trabajos de estabilización nivel por nivel, perforación, inyección, colocación y tensado de anclajes; así como la longitud del solape para la continuidad del refuerzo metálico. (Ver anexo # 2)

En el anexo # 3 se describen de manera simplificada una serie de equipos necesarios para la ejecución de una pantalla atirantada, Dichas definiciones serán de gran utilidad para facilitar la comprensión de las diferentes etapas constructivas.

#### **1.4.3. Elaboración de cómputos métricos con las diferentes partidas y sus cantidades estimadas.**

Una vez elaborado el proyecto y la alzada de la pantalla, el proyectista estará en capacidad de elaborar un cómputo métrico de las partidas típicas que conforman la solución de estabilización; éstos a su vez son imprescindibles para la realización de una consulta de precios y por ende el costo total de la misma.



## Capítulo 2: PROCESO CONSTRUCTIVO.

---

### 2.1. Preparación del Terreno.

#### 2.1.1. Replanteo de la obra.

Esta operación consiste en trasladar a nivel de campo, los detalles de la obra de estabilización contenidos en los planos topográficos. Es fundamental al inicio de la obra, la presencia de un topógrafo, para que suministre los datos necesarios en lo que respecta a la parte plano-altimétrica. Se deberá tener especial cuidado en conservar los puntos suministrados por el topógrafo. Como se muestra en el anexo # 4.1, es común la utilización de estacas que representan dichos puntos, los cuales al unirse originan el alineamiento de la pantalla.

#### 2.1.2. Reperfilamiento del talud.

Cuando se habla del reperfilamiento del talud nos referimos a la deforestación, limpieza y remoción de las capas de material indeseable, tanto el volcado como aquel que por sus características no sea el adecuado. Terrenos contaminados (como depósitos de basura) y rellenos mal compactados y con alto contenido de materia orgánica, son ejemplos de materiales que se deben remover; el anexo # 4.2 muestra alguno de estos ejemplos.

Este proceso se puede ejecutar preservando la geometría actual del terreno a estabilizar, o por el contrario, realizando cortes detrás de la superficie del talud, formando bermas de apoyo, como se muestra en el anexo # 4.3 y # 4.4, lo suficientemente amplias para la ejecución del trabajo y operación de las máquinas.



Si la pantalla se va a construir manteniendo la topografía original del talud, el reperfilamiento consistirá en remover un espesor mínimo de 20 cms. aproximadamente, de la masa de suelo no deseada. Si por el contrario, la ejecución de la pantalla requiere la modificación de la pendiente del talud, se realizarán cortes; la magnitud de los mismos dependerá del tipo de suelo que aflore. La mayor remoción del material se realiza con maquinaria (Showel, Mini-Showel o retroexcavadora), quedando los últimos 20 cms. ó 30 cms. para ser reperfilados a mano. Los anexos # 4.5 y # 4.6 muestran respectivamente cada uno de estos procesos.

En ambos casos para facilitar los procesos de colocación del acero de la armadura y a objeto de evitar sobre-volúmenes en el trasdós de la pantalla, al momento de reperfilarse se debe lograr la superficie más homogénea posible.

## **2.2. Refuerzo de la Pantalla.**

Como se observa en el anexo # 5.1 se colocan elementos que permitan el refuerzo metálico de la pantalla, generalmente se utilizan cabillas de diámetros comerciales y uso frecuente (3/8" a 3/4"). Corresponde al proyectista determinar en las especificaciones, y en los planos de proyecto, los detalles relativos al diámetro de las cabillas, separación vertical y horizontal (Ver anexo # 5.2), separaciones entre caras (si hay más de una) (Ver anexo # 5.3) y recubrimiento anterior y posterior.

Durante el armado del refuerzo se colocan elementos de soporte que le dan cierta estabilidad, como se muestra en el anexo # 5.4. Asimismo se colocan ganchos que permiten mantener uniformemente la separación de las caras de la parrilla (Ver anexo # 5.5).



Es necesario para reanudar el armado del refuerzo, dejar una longitud de solape (entre paños) que permita la continuidad de la parrilla, evitando zonas de debilidad en la losa (Ver anexo # 5.6).

Dependiendo de las condiciones de proyecto, el armado de la pantalla, puede estar comprendido por combinaciones de distintos tipos de acero como son cabillas, perfiles metálicos, mallas electro-soldadas y tubería de acero.

Una vez colocado el acero de refuerzo, en él se replantearán los pases para la perforación de los anclajes, drenes y barbacanas como se muestra en el anexo # 5.7.

### **2.3. Concreto Proyectado (Shot-crete).**

Se trata de una técnica en la cual se aplica sobre la superficie a proteger, un mortero o concreto neumáticamente proyectado con la ayuda de aire comprimido.

La preparación del concreto se hace en una mezcladora. Su principio de funcionamiento es el siguiente: la mezcla de concreto seco es introducida, en forma manual o con correa transportadora, en la tolva de la mezcladora, donde ocurre la unión del agregado con el cemento. A continuación la mezcla es vertida dentro del embudo de la gunitadora, pasando a un tambor giratorio (Ver anexo # 6.1), en el cual se encuentran unas recamaras, donde se introduce proporcionalmente. Una vez llenas las recamaras, alcanzan la salida al lado opuesto y entran al mismo tiempo en contacto con una corriente de aire comprimido (Ver anexo # 6.2), que permite llevar la mezcla a la boquilla a través de una manguera. Dicha boquilla contiene en su parte interior una pieza perforada, a través de la cual se introduce agua a presión, mezclando íntimamente la mezcla con el agua (Ver anexo # 6.3).



La siguiente figura esquematiza el proceso de elaboración de la mezcla de concreto proyectado.

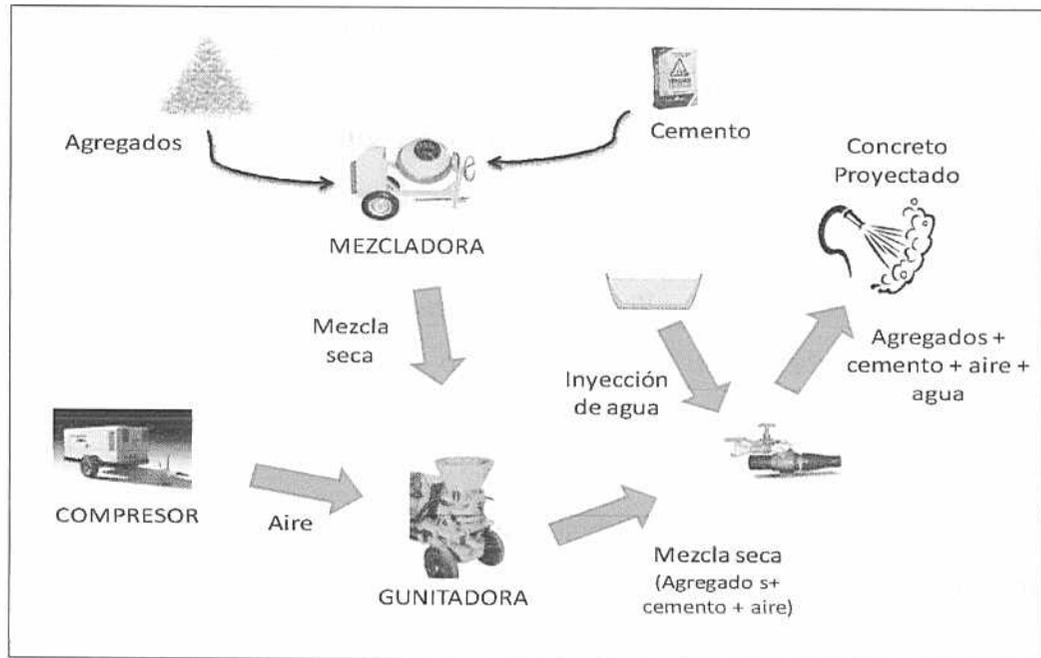


Figura 2.1: Proceso de preparación de la mezcla del concreto proyectado.

### 2.3.1. Proyección.

Antes de comenzar la colocación del concreto proyectado, es importante revisar que, tanto los materiales como el equipo, se encuentren en condiciones que garanticen una operación eficiente.

Frecuentemente, y dependiendo de las características del terreno, en la cara posterior de la parrilla de acero se generan sobre-volúmenes de concreto que en ciertos casos es importante cuantificar, ya que pueden generar aumentos significativos no previstos en las cantidades de concreto proyectado.



En los anexos # 7.1 y # 7.2 se observan sobre-volúmenes significativos en el trasdós de la pantalla, los cuales deberán ser calculados, ya que al momento recubrir el refuerzo se podrán necesitar grandes cantidades de concreto.

Estos sobre-volúmenes teóricos, también estarán afectados por el porcentaje de rebote al momento del vaciado, entendiéndose como sobre-volumen, todo el volumen que no forma parte de la sección teórica de la pantalla. Un cálculo sencillo para cuantificar dicho valor puede ser:

- Sobre la cara exterior de la parrilla de acero, tomar un punto de arranque a partir del cual se hará una cuadrícula horizontal y vertical.
- Medir perpendicularmente la distancia que hay desde el acero de la cara interior de la parrilla al terreno, en cada esquina de la cuadrícula.
- Tomar la altura promedio de esas cuatro lecturas.
- Restar a dicha altura el espesor que corresponde al recubrimiento interior de la parrilla.
- Al multiplicar dicha altura promedio, por el área de cada cuadrícula, se obtendrá el sobre-volumen teórico detrás de cada cuadrícula.
- La sumatoria de todos estos volúmenes corresponderá al sobre-volumen teórico de la pantalla en el área analizada.



- Si se desea computar todo este sobre-volumen, se deberán dejar sobre la armadura señales para el enlace de una cuadrícula con la siguiente. Obviamente, mientras más pequeña sea la cuadrícula escogida, más precisos serán los resultados, y viceversa.

En el anexo # 8 se encuentra el ejemplo del cálculo de un sobre-volumen teórico, así como también del porcentaje de rebote.

El proceso de proyección comienza impregnando la superficie del talud con agua impulsada por aire, a través de la manguera de proyección, con el fin de humedecerla y no permitir que la superficie absorba el agua de la mezcla, evitando la deshidratación del concreto. Luego se proyectará la mezcla hasta obtener el flujo más continuo posible, como se muestra en el anexo # 9.1.

El concreto proyectado sale de la boquilla a gran velocidad y se adhiere progresivamente capa por capa formando un muro de cierto espesor. Durante la proyección contra la superficie proyectada, se produce el fenómeno de rebote, lo que provoca un cierto porcentaje de pérdidas a nivel de concreto. El rebote concierne generalmente a los agregados gruesos, lo que provoca una mezcla rica en cemento. Según la Norma ACI 506R-90(95) el operador de la manguera se colocará aproximadamente de 0.6 a 1.8 metros y con la manguera a 90° de la superficie de trabajo (Ver anexo # 9.2), rotando repetidamente en pequeños óvalos o en patrones circulares la boquilla (Ver anexo # 9.3).

La presión ideal del agua a la salida de la boquilla debe ser de 100 a 200 Kpa. (15 a 30 psi.) o más sobre la presión de aire (ACI 506R-90(95)). La velocidad de impacto viene dada por la presión del aire, la cual es proporcional a la distancia entre la boquilla y la superficie de trabajo, a mayor distancia mayor presión de aire. Cabe destacar que un incremento de velocidad significa un aumento del efecto de rebote.



Cuando la proyección del concreto termina y se reanuda en cualquier otro momento, tanto la superficie de unión entre zonas, como si se comenzara una nueva capa, se deberá bañar con una ducha de agua y aire para limpiar el área y comenzar nuevamente el trabajo.

Es fundamental que la aplicación del concreto proyectado sea realizada por un personal especializado y que se controlen los factores que influyen en el porcentaje de rebote, algunos de ellos son:

- > Granulometría de los agregados.
- > Inclinação de la pantalla.
- > Empuje de aire comprimido.
- > Separación y forma de la parrilla de acero.
- > Ángulo de la boquilla de la manguera (Ver anexo # 9.4).
- > Grado de humedad de la mezcla.
- > Calibración de la proyectadora (gunitadora).
- > Distancia entre preparación y colocación.

Como paso final se aplica una última capa de concreto proyectado lo más homogénea posible puliendo la superficie y dándole un mejor acabado.

Para el vaciado de concreto proyectado de pantallas que sirvan para estabilización de sótanos, se tendrá especial cuidado, como se muestra en el anexo # 9.5, en dejar las reservas necesarias para el empotramiento de vigas y columnas. Las dimensiones de dichas reservas, deberán estar incluidas en los planos de proyecto.



## 2.4. Perforación.

Este es el paso previo a la colocación del anclaje. La longitud, diámetro y orientación de la misma dependerá del proyecto, por el contrario la selección del método de perforación más eficaz corresponderá al contratista. Es importante para optimizar el trabajo, usar los equipos adecuados para cada tipo de terreno, ya que existe multiplicidad de opciones al momento de seleccionar brocas y martillos de perforación; dependerá de esta selección el rendimiento de la obra. Asimismo se deberá esperar aproximadamente de 4 a 7 días para perforar luego de aplicado el concreto proyectado.

Los tipos de suelo y roca que afloran al perforar, así como las condiciones del terreno, deben ser identificados y clasificados con el fin de determinar la calidad del suelo en donde se ubicará el anclaje, sobre todo la zona de bulbo (Ver anexo # 10.1 y # 10.2).

Es recomendable perforar de 30 cms. a 50 cms. adicionales a la longitud total del anclaje, con esta medida se evita durante su colocación, que la tierra que se desprenda no disminuya su longitud efectiva.

Durante la perforación se pueden encontrar inconvenientes que signifiquen la presencia de derrumbes internos. Manifestaciones de la aparición de este problema pueden ser:

- Dificultad para retirar la broca.
- Cantidad considerable de suelo removido con pequeños avances de la perforación.
- Dificultad para insertar el anclaje hasta el final de la perforación.



## 2.5. Anclajes.

El uso de anclajes o tirantes como elementos estabilizadores en obras, constituye una de las soluciones más ventajosa, tanto técnica como económicamente, en situaciones donde es necesaria la ayuda para el soporte de un determinado estado de tensiones o esfuerzos de una masa de suelo.

Los anclajes son elementos de tracción cuya función es aplicar la fuerza estabilizadora al terreno, mientras que la losa de concreto armado, tiene las múltiples funciones de repartir las fuerzas de los anclajes en toda la superficie del talud, contener los volúmenes más superficiales del terreno, y proteger los materiales contra fenómenos como la erosión y la meteorización. (Rodríguez, Nelson; 1988)

La capacidad de carga de un anclaje es la carga bajo la cual se agota la resistencia de cualquiera de las partes que constituyen el conjunto anclaje-suelo o anclaje-roca. Los mecanismos de falla más importantes que pueden ocurrir en un anclaje son:

- Falla en la masa de suelo.
- Falla en la inter-fase suelo inyección.
- Falla en la inter-fase inyección guaya.
- Falla en la guaya de acero. (SABATINI, P.J., PASS, D.G., y BACHUS, R.C.;1999)

De acuerdo con la carga de diseño y la condición de la obra, pueden existir dos tipos de anclajes: los pasivos y los activos.

- **Anclajes Pasivos:** El anclaje no se tensa hasta su carga de trabajo sino a una carga mucho menor, pero suficiente para alinear las



guayas en la longitud libre del anclaje y para ajustar las planchas, cabezales y cuñas sobre los apoyos de concreto proyectado o mortero. De esta forma queda una fracción de su capacidad resistente en reserva, que solo se activará al empezar a producirse la deformación de la masa de suelo o roca. Este movimiento puede causar la rotura del revestimiento protector contra la corrosión, precisamente en el momento en el que la resistencia del anclaje es más necesaria.

- **Anclajes Activos:** Una vez instalado e inyectado se tensa hasta alcanzar su carga de trabajo, comprimiendo el terreno comprendido entre la zona del anclaje y la placa del apoyo del cabezal. Este tipo de anclajes son los más comunes en el caso de pantallas atirantadas.

Según su aplicación en función del tiempo, los anclajes pueden ser provisionales y permanentes.

- **Anclajes Provisionales:** Tienen carácter de medio auxiliar y proporcionan las condiciones de estabilidad a la estructura durante el tiempo necesario para disponer de otros elementos resistentes que los sustituyan. La vida útil no se recomienda que sea mayor de 18 meses.
- **Anclajes Permanentes:** Se instalan con carácter de acción definitiva. Se dimensionan con mayores coeficientes de seguridad y han de estar proyectados y ejecutados para hacer frente a los efectos de la corrosión. Adicionalmente el tirante debe ser capaz de transmitir de forma duradera y continua los esfuerzos del anclaje sin sufrir deterioro alguno. (Ucar Navarro, Roberto; 2004)



En el mercado existe gran variedad de anclajes tanto activos, conformados por guayas de acero trenzado tipo 270 K (ASTM A-416), como pasivos, pero en Venezuela el más comúnmente usado es el post tensado (Anclaje Activo), al cual hacemos referencia en este trabajo.

### 2.5.1 Partes de un Anclaje.

Es necesario conocer un poco de los elementos que conforman un anclaje para poder entender su proceso constructivo. Los anclajes están compuestos básicamente por 3 zonas: la cabeza del anclaje, la longitud libre y el bulbo.

#### 2.5.1.1. Cabeza de anclaje.

Comprende todos los elementos que se encuentran fuera del paramento del muro. Está integrado por:

##### 2.5.1.1.1. Base de apoyo.



Figura 2.2: Base de Apoyo.

Elemento de concreto vaciado con un encofrado metálico, o también por medio de concreto proyectado, y cuya cara externa debe ser ortogonal con respecto al ángulo de perforación del anclaje.



### 2.5.1.1.2. Plancha de acero.

Es el elemento de transferencia que se encuentra entre la base de apoyo y el cabezal de anclaje, la perforación para el pase de las guayas y para el apoyo de la cabeza debe ser adecuado al número y diámetro de las guayas. Su área y espesor varía de acuerdo a los requerimientos del proyecto.



Figura 2.1: Plancha de Acero.

Es importante que la superficie de apoyo de concreto sea totalmente horizontal, a objeto de evitar deformación en las planchas.

### 2.5.1.1.3. Cabezal de anclaje.

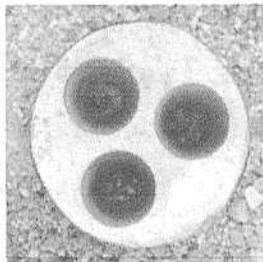


Figura 2.2: Cabezal de anclaje.

Pieza elaborada con aceros especiales de alta dureza, la cual es cortada aproximadamente a 45 mm. ó 55 mm. de altura y posteriormente mecanizada de acuerdo al número y diámetro de las guayas. Las cuñas y las perforaciones en el cabezal para guayas de diámetro 1/2" son de menor altura que las cuñas y perforaciones para guayas de diámetro 5/8". La pendiente cónica de la perforación en el cabezal es de siete (7) grados. La confección de esta pieza debe ser de acuerdo al tipo de cuñas y guayas que se vayan a utilizar, y sus características metalúrgicas deben ser tales que, las perforaciones en ellas realizadas no se deformen en el tiempo por la aplicación de la carga.

### 2.5.1.1.4. Cuñas.

Elementos metálicos en forma de cono truncado que presentan en su interior una superficie corrugada. Deben ser adecuadas para el tipo de guaya, (generalmente se usan cuñas



Figura 2.3: Cuñas.



para guayas de diámetro 5/8" y 1/2"), ya que la cuña es la encargada de aprisionar la guaya contra la cabeza y de mantener en el tiempo la carga aplicada; es fundamental que éstas sean nuevas, libres de impurezas e importadas, ya que su proceso de fabricación, desde el punto de vista metalúrgico, requiere de procesos muy especializados. Debe verificarse un contacto uniforme entre las caras exteriores de las cuñas y las perforaciones realizadas por un taller especializado en el cabezal.

#### 2.5.1.1.5. Capuchón.

Elemento constituido por un mortero, generalmente en forma tronco piramidal, que recubre todas piezas de la cabeza del anclaje, y usado como protección ante la corrosión. También es importante proteger las guayas que quedan fuera del capuchón para facilitar cualquier verificación posterior o retensado del anclaje.



Figura 2. 4: Capuchón.

#### 2.5.1.2. Longitud Libre.

Conecta la cabeza con el bulbo; es la zona del anclaje donde se desarrolla toda la deformación elástica. Para que el acero se deforme libremente, se coloca una manguera de material plástico liso alrededor de las guayas y así impedir la adherencia de las mismas con la inyección circundante. Está constituida por:

##### 2.5.1.2.1. Tubo protector de plástico liso.

Elemento usado para proteger cada una de las guayas en la parte de la longitud libre. Antes de colocar la guaya dentro de este tubo, la misma es protegida con una grasa anticorrosiva.



Figura 2. 5: Tubo protector de plástico liso.



#### 2.5.1.2.2. Tubo protector de plástico liso para el conjunto de guayas.

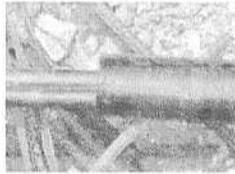


Figura 2. 6: Tubo protector de plástico liso para el conjunto de guayas.

Elemento usado para proteger el conjunto de guayas en la parte de la longitud libre.

#### 2.5.1.2.3. Disco separador de guayas.

Elemento de plástico diseñado para mantener el conjunto del anclaje correctamente centrado. Están colocados en intervalos regulares y diseñados para permitir el libre paso de la lechada.

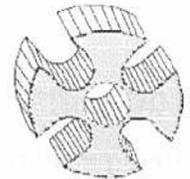


Figura 2.7: Disco separador de guayas.

#### 2.5.1.3. Zona de Bulbo.

Parte del anclaje destinado a fijar el mismo en el macizo que lo rodea una vez finalizado el proceso de inyección. Debe ubicarse detrás de la superficie crítica de falla que se ha asumido en la solución de estabilización. Sus partes son:

##### 2.5.1.3.1. Sello o tapón.

Elemento constituido por un mortero de agua/cemento que separa la zona libre de la zona de bulbo. Su función es evitar el reflujo de la lechada al momento de la inyección, hacia su longitud libre.

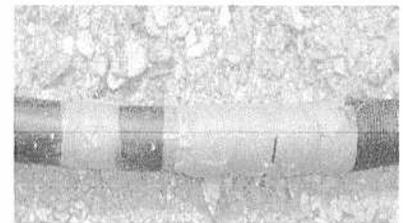


Figura 2.8: Sello o Tapón



### 2.5.1.3.2. Tubo de plástico corrugado.

Ubicado al final del anclaje, envuelve las guayas en la zona del bulbo. Sus funciones son: aumentar la fricción lateral en la inter-fase suelo, lechada y guaya; evitar que las guayas se contaminen al momento de su colocación; y proteger las guayas contra los efectos de la corrosión.

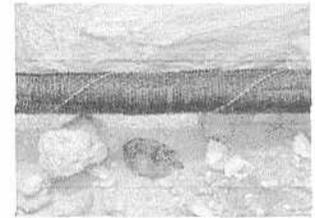


Figura 2. 9: Tubo de plástico corrugado.

A lo largo de toda la longitud del anclaje se encuentran las guayas que generan la tensión del anclaje, así como también un tubo liso de plástico por el cual se inyecta la lechada. En la zona libre cada guaya va recubierta por un tubo de plástico como se mencionó anteriormente.

Una guaya o cable es un conjunto de hilos de acero especial (Tipo 270 K) que forman un cuerpo único como elemento de trabajo. Estos alambres pueden estar trefilados de forma helicoidal alrededor de un alambre central llamado alma o núcleo. Generalmente las guayas usadas para anclajes están formadas por capas comprendidas entre 6 y 54 hilos. Este acero especial tiene una resistencia, dependiendo del fabricante, cercana a los 170 kg/mm<sup>2</sup>. En el anexo # 11 se muestra un certificado de ensayo de las guayas, en el cual se expresan sus características mecánicas y estructurales.

Las características del anclaje referidas al número de guayas, su longitud libre, su longitud de bulbo y su diámetro, estarán definidas en el plano de detalles del proyecto.

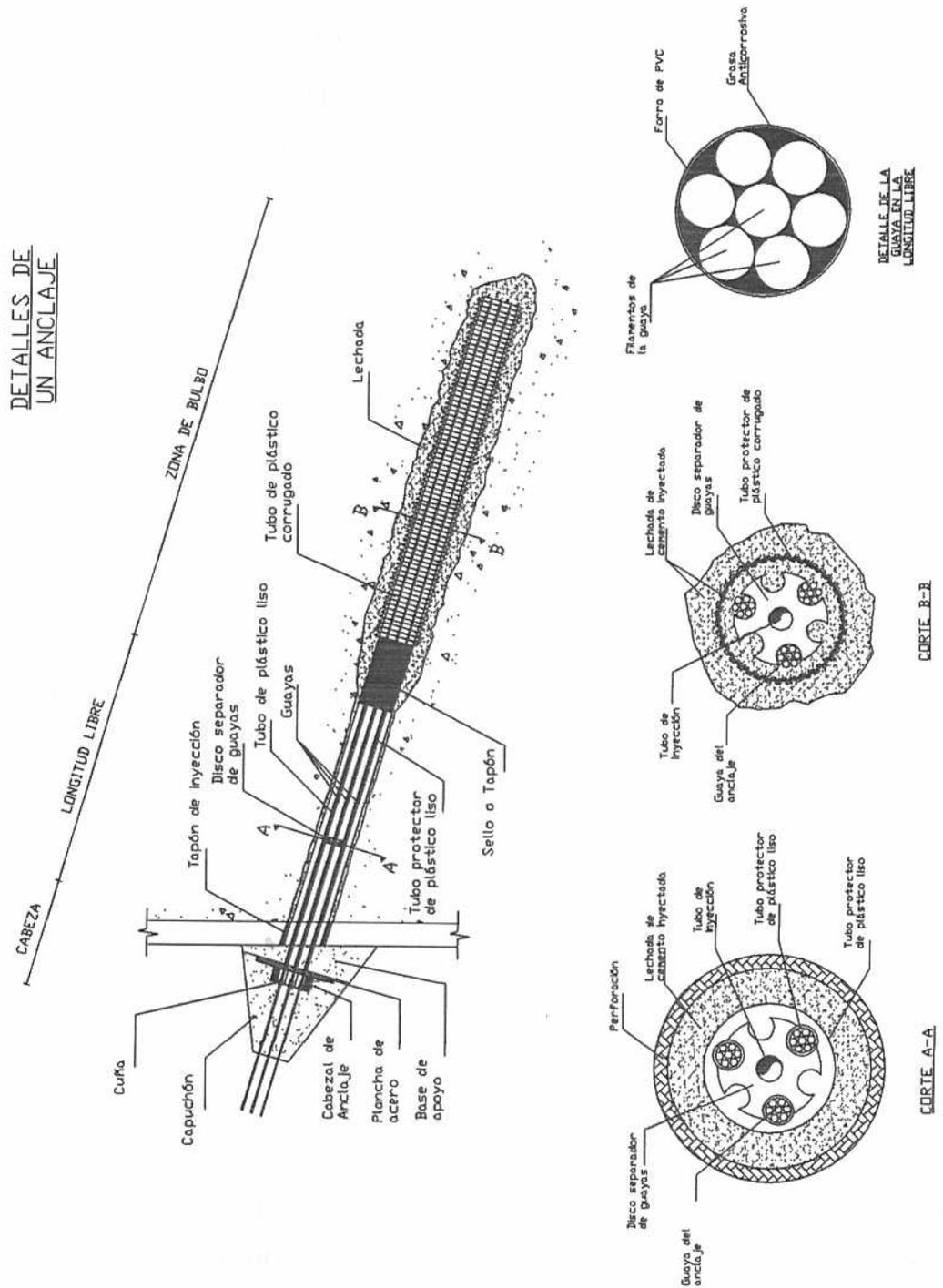


Figura 2.110: Detalles de un Anclaje. (Centeno Werner, Roberto; 2007)



### **2.5.2. Colocación.**

El anclaje es introducido en la perforación hasta la profundidad requerida. La operación se lleva a cabo de manera tal de evitar daños a las guayas y revestimientos, plegaduras excesivas de las guayas y derrumbes de material en la perforación. (Sistemas ATBT; 1996)

Los anclajes se almacenan en una zona que impida su contaminación con alguna sustancia que pueda comprometer la adherencia del acero con la lechada de inyección. Después de la instalación, las guayas deben sobresalir del paramento de la pantalla una longitud mínima que permita la instalación del gato hidráulico y demás elementos necesarios para el tensado.

### **2.5.3. Inyección.**

La mezcla y modalidades de inyección serán determinadas por el contratista sobre la base de pruebas experimentales en función del tipo de tirante empleado y de las condiciones de la roca (Ver anexo # 3). (Sistemas ATBT; 1996)

Una vez preparada en la batidora la lechada de agua/cemento, se procede a colocarla dentro de la perforación por medio de una inyectora que bombea la mezcla a través de una manguera que posee el anclaje en toda su longitud, tal como se muestra en el anexo # 12.1.

La lechada de agua/cemento es bombeada sin suministrar presión, y una vez que llega al fondo, retorna por el espacio comprendido entre la pared de la perforación y el forro protector del anclaje, hasta salir por la boca de la misma, en este momento se calafatea el espacio anular entre la perforación y el anclaje (Ver anexo # 12.2), y se continúa con el proceso de inyección, pero esta vez



suministrando presión por medio de una bomba de inyección de pistón hasta alcanzar la presión solicitada en las especificaciones.

El proceso se podrá considerar concluido si la presión se mantiene constante por un periodo mínimo de 3 minutos para los valores de la presión de inyección requeridos. Seguidamente la tubería de inyección del anclaje se dobla y se sella, como se muestra en el anexo # 12.3, evitando perdidas de presión.

Los valores de la presión de la lechada serán medidos con el uso de un manómetro de escala adecuada acoplado a la línea de inyección, y controlado por personal especializado.

En la siguiente figura se esquematiza el proceso:

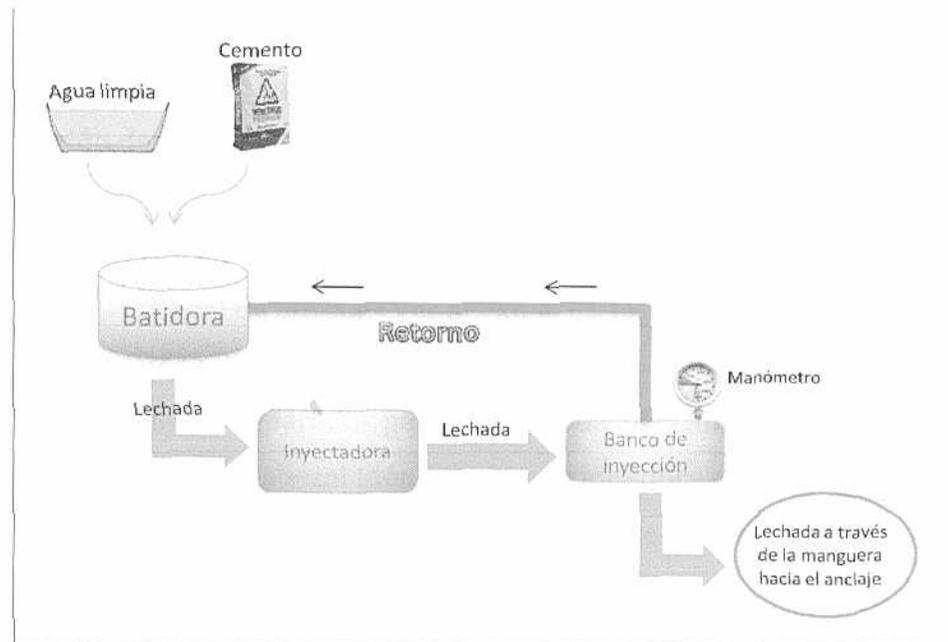


Figura 2. 13: Proceso de Inyección.



#### 2.5.4. Tensado.

Este último paso en la ejecución de un anclaje, es el que nos permite aplicar en forma activa la carga contra el talud que se está estabilizando, y una vez realizado en la forma adecuada, indicará si todos los procesos previos, como perforación, colocación e inyección están de conformidad a los criterios considerados en el diseño; en consecuencia, su ejecución debe ser hecha con sumo cuidado y por personal de comprobada experiencia.

Como paso previo al proceso de tensado, se tiene:

1. Comprobación del tiempo transcurrido desde la inyección hasta el tensado del anclaje. Aproximadamente será de 7 a 10 días.

2. Ejecución de la base de apoyo con la inclinación adecuada.

3. Colocación de:

- Plancha de acero.
- Cabezal de anclaje (Ver anexo # 13.1).
- Cuñas (Ver anexo # 13.1).
- Anillo o separador para permitir desplazamiento de las cuñas.
- Segundo cabezal idéntico al anterior sobre el anillo de tensado.
- Gato de tensado (base hacia delante y pistón deslizante hacia atrás).

4. Desplazar el pistón del gato unos 7 cms. hacia fuera, para permitir su liberación una vez concluida la operación de tensado y bloqueo del anclaje.



5. Colocar sobre el pistón ya desplazado, el cabezal y cuñas adecuadas para la fijación de las guayas y su posterior tensado (Ver anexo # 13.2).

Una vez colocados todos los elementos, tal como lo indican los pasos previos, se procederá de la siguiente manera:

Por medio de la bomba hidráulica se le dará al anclaje una carga previa, la cual tiene como finalidad:

- Alinear las guayas en el tramo de su longitud libre.
- Ajustar los elementos externos del anclaje, plancha sobre apoyo, cabezal sobre plancha y cuñas sobre cabezal.
- Reacomodo del bulbo dentro del terreno.

Durante este proceso de acomodo se observará que el pistón se deforma, cuando este proceso de ajustes iniciales finaliza, se observan valores en el manómetro que oscilan entre 4 Ton a 7 Ton, usualmente se ajusta para un valor único y de fácil lectura en el manómetro (Ver anexo # 13.3).

Luego a partir de esa carga de referencia, que a los efectos del diagrama de tensado significará deformación cero, se tomarán lecturas de la deformación de las guayas, con un incremento aproximado de 20%, entre cada una de ellas.

Es importante señalar que si durante el proceso de aumento de la carga en un determinado escalón, se observa un incremento de la deformación teóricamente esperada superior al 60%, deberá interrumpirse el proceso de tensado para evaluar las causas que lo han originado, ya que podría ocurrir un desplazamiento del bulbo no deseado.



En el proceso de tensado generalmente el anclaje es llevado a un 20% más de su carga de diseño. Se toma este valor, debido a que durante el proceso de descarga del anclaje y consiguiente clavado de las cuñas, se produce una pérdida de tensión en las guayas que es muy cercana a este 20%, por consiguiente el anclaje queda bloqueado a su carga de diseño. Existen gatos de doble acción (Ej. Gato Freyssinet), que al momento de que el anclaje llegue a su carga de diseño, lo bloquea sin ningún tipo de pérdida de carga, es decir, que no es necesario un incremento del 20% para que pueda quedar bloqueado a la carga de diseño. (Bureau Securitas TA-86)

El control de tensado se efectúa interpretando la relación entre la fuerza aplicada y el desplazamiento. Las curvas de tensión (o diagrama de tensado) de los tirantes rara vez tienen una trayectoria perfecta, ya que no existe una longitud elástica fija, pero se deben encontrar entre las dos líneas limítrofes, que son el resultado de la máxima deformación para la carga de diseño en cada uno de los extremos de la longitud elástica. (Wiltold Meijer, Jerzy; 1982)

Se supone que en un tirante sano la resultante de los esfuerzos movilizados por el bulbo se encuentra en su primera mitad, lo cual significa que la longitud elástica está definida por:

$$L_L \leq L_E \leq L_L + \frac{1}{2} L_B$$

Donde:

$L_L$  = Longitud libre.

$L_E$  = Longitud elástica.

$L_B$  = Longitud del bulbo.

Para esta  $L_E$  también se deberá considerar la longitud de guaya, que pasa a través del gato de tensado, la cual hay que agregar a la longitud libre, ya que la



aplicación de la fuerza por el gato se hace a una cierta distancia de la cabeza del tirante, que puede variar dependiendo de las dimensiones del gato.

#### 2.5.4.1. Diagrama de Tensado.

El diagrama de tensado de un anclaje, es una herramienta valiosa para poder interpretar el comportamiento del mismo, cuando éste es sometido a un ciclo de carga hasta alcanzar su carga de diseño y un porcentaje mayor a esta carga, el cual dependerá de las exigencias y condiciones particulares de la obra, y de la función que va a realizar este elemento.

Siempre que hablamos de deformaciones de las guayas, nos referimos a deformaciones recuperables (rango elástico), ya que por información del fabricante se conoce con anterioridad su punto cedente. Se trabaja como carga de diseño para anclajes permanentes con el 60% del punto cedente y para anclajes provisionales con el 75% del punto cedente, como factor de seguridad. (Bureau Securitas TA-86)

Igualmente la capacidad de un bulbo de soportar una carga, sin sufrir un corrimiento más allá de lo tolerable, dependerá de varios factores como su longitud, su diámetro, el material donde esté ubicado, la presión de la lechada con que fue inyectado, el tiempo transcurrido entre perforación e inyección etc.

Por consiguiente el comportamiento ideal de un anclaje, dependerá directamente de las condiciones del terreno donde estará ubicado el bulbo y del número y diámetro de las guayas que lo conforman.

Aunque la carga de diseño de un anclaje, su longitud libre y la longitud del bulbo viene dada por el proyectista, si al inicio de la obra se realizan pruebas que



demuestran discrepancias entre el estudio de suelo y lo realmente encontrado a nivel de obra, así como pruebas de control para anclajes que nos indican que éste no es capaz de soportar la carga de diseño, se pueden hacer modificaciones en obra, siempre que cuenten con la aprobación previa del proyectista, para mejorar su desempeño.

El diagrama de tensado corresponde a una curva donde, en la ordenada se refleja la carga aplicada y en la abscisa la deformación que sufre el elemento para cada incremento de dicha carga.

La deformación que sufre el anclaje, es la sumatoria de la deformación dentro del rango elástico de la guaya, y de los valores de corrimiento del bulbo.

Dicha deformación es directamente proporcional a su longitud y a la carga aplicada, e inversamente proporcional a la sección del elemento y a su módulo de elasticidad (Ley de Hooke). (Wiltold Meijer, Jerzy; 1982)

$$\delta = (P * L) / (A * E)$$

Donde:

$\delta$  = Deformación Elástica (mm).

P = Fuerza aplicada sobre el anclaje (Ton).

L = Longitud (m).

A = Área transversal de cada guaya (mm<sup>2</sup>).

E = Modulo de elasticidad de las guayas (KN/mm<sup>2</sup>).



### 2.5.4.2. Ejemplo del cálculo y aplicación del Diagrama de Tensado en un caso real.

Los valores que se encuentran en la siguiente tabla fueron tomados de uno de los anclajes de la pantalla a la cual se le hizo el seguimiento.

DESCRIPCIÓN	SIMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
Longitud total	LT	11	Mts
Longitud de bulbo	LB	8	Mts
Longitud libre	LL	3	Mts
Longitud fuera del paramento	LP	0,5	Mts
Sección transversal	A	450	mm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad	E	200	KN/mm <sup>2</sup>
Carga de trabajo	Qt	30	Ton
Carga de acomodo	Qo	8,1	Ton
Carga aplicada	Q	36,53	Ton

Figura 2. 14: Tabla de características del anclaje y guayas.

Aplicando la ley de Hooke, se calculan los límites permisibles de la deformación que deberá reflejar el anclaje según Wiltold Meijer, Jerzy; 1982.

Este procedimiento generalmente es utilizado en campo para corroborar que el proceso de tensado de los anclajes ha sido efectuado correctamente, tomando valores de deformaciones de las guayas, reflejadas en el movimiento del pistón de gato hidráulico, en cada ciclo de carga. Estos valores se llevarán a una gráfica (Carga vs Desplazamiento), los cuales se deberán encontrar entre dos curvas que representan la máxima deformación para la carga de diseño en cada uno de los extremos de la longitud elástica.



Determinación del límite superior:

Límite superior:

$$\delta_{E1} = \frac{(Q - Q_0) * (L_L + L_p + L_B/2)}{A * E}$$

En donde:

$\delta_{E1}$  = deformación elástica.

$Q - Q_0$  = Diferencia entre la carga aplicada y la carga de reacomodo del anclaje.

$L_L$  = Longitud libre del anclaje.

$L_B$  = Longitud de la zona de bulbo.

$L_p$  = Longitud de guaya que sobresale del paramento de la pantalla.

$E$  = Modulo de elasticidad de la guaya.

$$\delta_{E1} = \frac{(36,53 - 8,1) \text{ Ton} * (3 + 0,5 + 4) \text{ mts.}}{450 \text{ mm}^2 * 200 \text{ KN/mm}^2} * \frac{10 \text{ KN} * 1000 \text{ mm}}{1 \text{ Ton} * 1 \text{ mts}} = 23,69 \text{ mm.}$$

Determinación del límite inferior:

Límite inferior:

$$\delta_{E2} = \frac{(Q - Q_0) * (L_L + L_p)}{A * E}$$



En donde:

$\delta_{E2}$  = deformación elástica.

$Q - Q_0$  = Diferencia entre la carga aplicada y la carga de reacomodo del anclaje.

$L_L$  = Longitud libre del anclaje.

$L_P$  = Longitud de guaya que sobresale del paramento de la pantalla.

$E$  = Modulo de elasticidad de la guaya.

$$\delta_{E2} = \frac{(36,53 - 8,1) \text{ Ton} (3 + 0,5) \text{ mts.} * 10 \text{ Ton} * 1000 \text{ mm}}{450 \text{ mm} * 200 \text{ KN/mm}^2} = \frac{11,05 \text{ mm}}{1 \text{ Ton} * 1 \text{ mts}}$$

En la siguiente tabla se muestran los valores de las deformaciones tomadas en campo en cada ciclo de carga, en donde la deformación es la diferencia entre los intervalos de lectura, sin embargo los valores de las deformaciones acumuladas son los utilizados para la obtención del gráfico del Diagrama de Tensado.

CARGA (PSI)	CARGA (TON)	LECTURA (mm)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN ACUMULADA (mm)
1000	8,1	33,3	0	0
2000	13,33	37	3,7	3,7
3000	19,43	41	4	7,7
4000	24,96	44	3	10,7
5000	30,73	47,9	3,9	14,6
6000	36,53	51,4	3,5	18,1

Figura 2.15: Tabla de desplazamientos obtenidos a lo largo del proceso de tensado del anclaje.

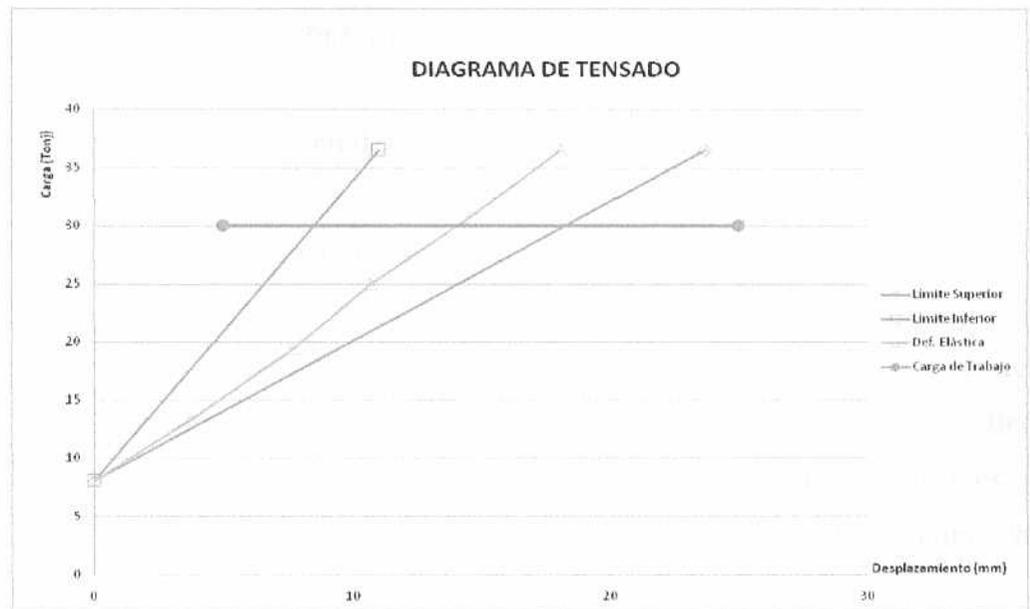


Figura 2. 16: Diagrama de Tensado.

## 2.6. Protección contra la Corrosión.

A lo largo de cada anclaje, existen elementos que se colocan para protegerlos de posibles contaminaciones provocadas por agua o agentes químicos presentes en el suelo, que pueden alterar su funcionamiento y vida útil.

El tubo de plástico corrugado en el bulbo, los tubos flexibles que recubren las guayas, el de plástico liso que cubre la zona libre, y los separadores a lo largo de ambas zonas, son algunos de los elementos que protegen el anclaje de agentes corrosivos. La presencia de la lechada a lo largo del anclaje y en la zona de bulbo también contribuye con la protección.

Una vez terminado el proceso de tensado, en la cabeza del anclaje es conveniente llevar a cabo las siguientes medidas para su protección:



- Aplicar pintura anticorrosiva a los elementos metálicos (plancha de apoyo y cabezal).
- Las cuñas deben llenarse de grasa para evitar la entrada de agua.
- Se vaciará el capuchón.
- A la longitud de guaya visible que se encuentra fuera del paramento del muro se protege a cada una con un tubo de plástico liso; luego un tubo de plástico que las envuelva a las tres y posteriormente se vacía lechada por ese mismo tubo, como se muestra en el anexo # 14.

Como medida a considerar es recomendable no cortar las guayas que se encuentran en el exterior de la perforación, para facilitar las posibles verificaciones de carga que se requieran ejecutar en un futuro.

## **2.7. Drenes y Barbacanas.**

### **2.7.1. Drenes.**

Elementos que consisten en tubos de plástico, perforados y revestidos con una tela de geotextil permeable (Ver anexos # 15.1 y # 15.2). Para su instalación en obra se seguirá el siguiente procedimiento:

- Después de haber terminado la inyección de todos los anclajes por construirse encima de los drenes profundos, se procederá a ejecutar la perforación con la longitud y orientación indicada en los planos.



- Una vez terminada la perforación, se introducirá el tubo del dren, dejando un extremo libre que sobresale del muro o la pantalla.
- A fin de proteger la parte del dren que sobresale del paramento, se forra con un tubo de PEAD o hierro galvanizado dicha zona. Rematar con mortero de cemento el intersticio entre la perforación y el dren. (Ingeotec; 2001)

### **2.7.2. Barbacanas.**

Elementos que tienen la función de permitir el alivio de posibles acumulaciones de agua detrás del muro o pantalla (Ingeotec; 2001). Consistirán en tubos de PVC cuyo diámetro, frecuentemente utilizado, es de 2" y son colocados al finalizar el emparrillado.

### **2.8. Zapata de Fundación.**

No existen normas específicas para el diseño y la ejecución de la zapata. Se coloca como apoyo de la pantalla contribuyendo a la estabilidad de la base y evitando su desplazamiento, además absorbe parte de la componente vertical de los anclajes.

Deberá estar apoyada en terreno competente; en el caso de que el suelo donde se apoye no ofrezca garantía de estabilidad, se deberán transmitir los esfuerzos a otro estrato más competente, con ayuda preferiblemente de micropilotes o algún otro elemento de soporte.

En el anexo # 16.1 se observa el armado del refuerzo metálico de la zapata, que luego se vaciará con el mismo procedimiento usado para la pantalla, dando como resultado lo que se muestra en el anexo # 16.2.



### *Capítulo 3: CRITERIOS DE CONTROL*

---

Consistirá en llevar a cabo los controles de la programación; garantizar que la obra se ajusta al proyecto, y estudiar los posibles cambios que durante el transcurso de la obra, y por circunstancias de la misma, decidiese realizar la compañía de inspección, la de gerencia, el proyectista o el contratista.

Tanto la recepción de materiales como la aceptación final de las partes de la obra, se realizará en base a las condiciones de aceptación o rechazo que figuran en el proyecto y a las fijadas por la inspección durante la ejecución de las obras.

#### **3.1. A nivel de Preparación del terreno.**

##### **3.1.1. Replanteo.**

- Habrá que asegurar el reconocimiento profesional del topógrafo; es recomendable mas no imprescindible, que sea el mismo que realizó el levantamiento inicial del proyecto.
- Verificar que el plano topográfico realmente coincida con las condiciones encontradas en el terreno.
- Verificar que el plano-altimétrico esté en concordancia con lo que se refleja en el campo en cuanto a curvas de nivel, cotas, distancias, linderos, obstáculos topográficos, muros, etc.
- Verificación de servicios y obstáculos que se encuentren detrás del trasdós del muro, sobre todo cuando la pantalla se ejecute en el



borde de una calzada, linderos entre edificios, sótanos, líneas de metro, etc.

### 3.1.2. Reperfilamiento.

- Verificar y respetar el ángulo de la(s) nueva(s) pendiente(s) establecida(s) en las especificaciones del proyecto. Para la medición de las pendientes se podrá usar un clisímetro (Ver anexo # 17).
- En caso de muros verticales, se usa una plomada para verificar su verticalidad.
- Cuando se realizan los cortes a máquina, mantenerla a una distancia prudencial, para hacer el reperfilamiento final a mano.
- Controlar el área a remover para no causar una descompresión en el terreno que pueda originar un deslizamiento. Es recomendable asegurar la pantalla tensando los anclajes previamente colocados antes de pasar al siguiente corte.
- Existencia y movilización de peñones, que si se retiran pueden generar oquedades.
- Cálculo de volúmenes de excavación antes y después del corte por medio de secciones topográficas originales y modificadas, cuando los cortes para las diferentes terrazas se realizan con maquinaria pesada.



### 3.2. A nivel de Refuerzo de la Pantalla.

- Verificar que el corte y doblado de las cabillas, así como su almacenamiento, se hagan adecuadamente para evitar problemas de corrosión.
- Verificación de los diámetros, separaciones verticales y horizontales, y longitudes de solapes para cada diámetro.
- Controlar el alineamiento horizontal del acero para facilitar el replanteo de las perforaciones.
- Confirmar la presencia y correcta posición de los elementos separadores y distanciadores de las parrillas.
- Verificar si en las especificaciones del proyecto, existe refuerzo alrededor de la ubicación de los anclajes. Usualmente este tipo de refuerzo extra se coloca para evitar el punzonamiento de la pantalla.
- Comprobar que se han dejado los pases para las perforaciones de anclajes y drenes.
- Verificar la colocación de barbacanas.
- Colocación de guía o punto de referencia para verificar que las longitudes del recubrimiento interior y exterior sean las especificadas.



- Comprobar que se deje las longitudes de solape verticales y horizontales según norma, para permitir las uniones entre paños.

### 3.3. A nivel de Concreto Proyectado.

- El cemento deberá estar sin grumos y los agregados con el contenido de humedad suficiente, usualmente entre el 4% y el 6%, para minimizar la presencia de polvo. {ACI 506R-90(95)}
- Comprobar que los agregados presenten una granulometría adecuada, exentos de impurezas, barro, limo, material orgánico y libre de cloruro y sulfatos.
- Chequear que los equipos necesarios para la elaboración y proyección del concreto se encuentren en buenas condiciones de operación. Por ejemplo, verificar que los platos de la gunitadora no se encuentren desgastados ya que puede haber pérdida de aire en el proceso.
- Verificar la existencia de posible sobre-volumen en el trasdós de la pantalla, y computarlo en las áreas donde este sea más significativo. El anexo # 18 muestra una planilla modelo que facilita el cálculo del sobre-volumen.
- En caso de ambientes marinos es conveniente usar cemento Portland Tipo 2, el cual es un cemento resistente a los sulfatos. También se deben revisar los recubrimientos.



- Verificar la capacidad neumática del compresor para un correcto funcionamiento de los equipos, ya que un bajo empuje disminuye la resistencia y aumenta el porcentaje de rebote.
- Verificar que la presión de aire sea suficiente para garantizar un suministro continuo de mezcla y evitar obstrucciones en los conductos.
- Chequear que la presión de agua sea suficiente para permitir su incorporación a la mezcla seca en la boquilla.
- Comprobar que la distancia entre la boquilla y la proyectadora sea la menor posible, evitando así pérdidas por fricción en las tuberías.
- Controlar que el ángulo y la distancia entre la boquilla y la pantalla sean los adecuados, y se mantengan a lo largo de la proyección para evitar el efecto de rebote.
- Comprobar que se realice el replanteo en el concreto fresco de los pases para la perforación de los anclajes y drenes.

### **3.3.1. Control de la resistencia del concreto.**

- Toma de muestra en probeta normalizada (Ver anexo # 19.1 y # 19.2).
- Identificación de la muestra y zona de origen. En el anexo # 20 se muestra una planilla para el control del concreto proyectado.
- Desencofrar en tiempo determinado (10 días) de dicha probeta.



- Toma de núcleos de concreto endurecido (core-drills) de diámetro y altura adecuada.
- Aplicar factores de corrección por altura y diámetro. (COVENIN 345)
- Aplicar el ensayo de Compresión Simple (Ver anexo # 20).

#### 3.4. A nivel de Perforación.

- Comprobar el replanteo de la perforación, separaciones verticales y horizontales.
- Verificar las características del material (humedad; presencia de nivel freático) donde se alojará el bulbo. En caso de presencia de nivel freático o materiales poco compactos, será necesario el uso de forro de revestimiento.
- Verificar que las características y eficiencia del equipo perforador son las adecuadas para el tipo de suelo o roca (brocas, martillos).
- Verificación del diámetro de la perforación de acuerdo a las especificaciones y al número y diámetro de las guayas.
- Chequear el ángulo (clisímetro) y la longitud de la perforación.
- Asegurar la limpieza en la perforación.
- Controlar la velocidad y las dificultades durante el avance de la broca durante la perforación.



- Verificar pérdidas de aire durante el proceso.

En el anexo # 22 se encontrará una planilla de control para el proceso de perforación.

### **3.5. A nivel de Anclaje.**

- Longitud total del anclaje.
- Longitud libre y longitud del bulbo.
- Número de guayas y diámetro.
- Protección anticorrosiva en longitud libre.
- Tubo protector de plástico liso para cada una de las guayas.
- Forro en PVC para conjunto de guayas.
- Tubo de plástico corrugado en la longitud del bulbo.
- Disco separador para guayas.
- Sello o tapón de mortero para separar el bulbo de la longitud libre.
- Verificar que las guayas descubiertas del bulbo del anclaje estén libres de aceite, grasa u otras sustancias que puedan comprometer la adherencia del acero con la lechada de inyección.



Es recomendable realizar uno o dos anclajes de prueba, para verificar que el diseño del bulbo está acorde con los parámetros asumidos por el proyectista, asimismo es conveniente no fabricar muchos anclajes antes de que estas pruebas hayan sido evaluadas. Si algún anclaje no supera la prueba, se deberá modificar el diseño del bulbo adecuado a los resultados experimentales obtenidos. (INGEOTEC; 2001)

### **3.5.1. A nivel de Colocación del Anclaje.**

- Verificar que se deje la longitud necesaria del anclaje fuera de la pantalla para permitir su tensado.
- En aquellos casos donde el anclaje no puede ser introducido en el hueco inmediatamente después de terminada la perforación, éste deberá ser soplado antes de la introducción del anclaje. En este caso se introducirá una manguera hasta el fondo de la perforación, y se inyectará aire comprimido para remover todo material suelto que pudiera haberse desprendido de las paredes. Si la manguera no entra hasta el fondo del hueco, habrá que proceder a su reperfusión. (Vignali C, Mario; 2005)
- Verificar que al colocar el anclaje no se le aplique torsión, y así evitar daños a las guayas y revestimientos, plegaduras excesivas de las guayas y caídas de material en la perforación.

### **3.5.2. A nivel de Inyección del Anclaje.**

- Comprobar que la inyección se ejecute inmediatamente después de la instalación del anclaje en el hueco. En el caso de que se posponga la inyección, se debe retirar el anclaje del hueco. Antes



de ser reinsertado se debe limpiar la perforación con aire comprimido.

- Dosificación de la lechada (agua/cemento) de acuerdo a especificaciones.
- Chequear la distancia entre el equipo de inyección y la perforación. En caso de ser muy grande, puede ser conveniente el uso de aditivos plastificantes que eviten que la lechada selle la manguera.
- Verificar la presión de inyección.
- Verificar el tiempo de estabilización de la presión.
- Verificar que el número de sacos de cemento consumido concuerda con el número calculado teóricamente. En caso que la cantidad utilizada sea mayor a la esperada, se podría sospechar que:
  - Existe comunicación entre perforaciones (anclajes o drenes).
  - Existen fugas de lechada por el talud o por algún tipo de canalización.
  - La presión de inyección supera los valores de cohesión del terreno, y en vez de consolidarlo, lo fractura generando grietas que no existían originalmente; por lo tanto, el proceso de inyección no alcanza la presión deseada.
  - En caso de inyección de dos anclajes simultáneamente, controlar los tiempos de inyección de cada anclaje.



- En el momento que el anclaje llega a la presión deseada, verificar que al doblar y sellar la manguera de inyección, no se pierda presión.
- En el caso de que la pantalla se apoye sobre un muro de gaviones o sobre un relleno, es conveniente el uso de un obturador y/o manchón de concreto (Ver anexo # 23).
- En caso de que la longitud libre sea muy pequeña con respecto a la longitud del bulbo, es conveniente hacer la pantalla antes de proceder a la inyección, ya que ésta ayuda a contener el refluo de la lechada y evita los derrumbes ocasionados por este.

En el anexo # 24 se encontrará una planilla para el control del proceso de inyección de un anclaje.

### **3.5.3. A nivel de Tensado del Anclaje.**

- Verificar que las dimensiones de la plancha coincidan con las especificadas en el proyecto.
- Verificar que gato y manómetro estén en buenas condiciones y previamente calibrados. En el anexo # 25 se muestra un ejemplo de la calibración de un gato hidráulico.
- Verificar que las cuñas y la cabeza no sean de dudosa procedencia. Las cuñas deberán ser importadas ya que en Venezuela no son



fabricadas. Cualquiera que sea su origen, deberán tener una certificación de calidad y estar en buenas condiciones.

- Verificar que el cabezal sea mecanizado de acuerdo al tipo de cuña a utilizar.
- Verificar que el cabezal sea colocado perpendicularmente a la dirección del anclaje.
- Verificar que el orificio de la plancha sea adecuado al número de guayas, y diámetro del cabezal.
- Verificar que las cuñas y cabezas estén nuevas y no tengan presencia de óxido.
- Verificar la fecha de inyección del anclaje a tensar (debe ser mayor a 7 días).
- Verificar que la longitud del pistón sea suficiente para realizar el tensado en una sola etapa.
- Verificar si el anclaje se va a tensar para ser bloqueado, o es de prueba.
- Analizar que prueba se va a aplicar al anclaje.
- Verificar que la cabeza este centrada con respecto al orificio de la plancha de apoyo.



- Constatar que los equipos utilizados correspondan a los señalados en la planilla de calibración.
- Colocar todos los elementos en la posición correcta.
- Verificar que no hayan fugas de aceite hidráulico ya que se pueden interpretar como desplazamientos en el anclaje. Purgar la manguera para eliminar el aire presente en la misma.
- Verificar que la carga inicial para el alineamiento de los elementos de tensado y las guayas no exceda ciertos valores.
- Verificar que al momento de alinear las guayas, dentro del pistón del gato no estén entrelazadas.
- Verificar que el cabezal que se encuentra entre el gato y el anillo de tensado sea de las mismas características del primer cabezal para evitar el efecto bayoneta.
- Verificar que el número de guayas del anclaje entren holgadamente por el orificio del pistón.
- Verificar que las cuñas de tensado sean iguales y estén en las mismas condiciones.
- Verificar que la escala de las lecturas que se tomen correspondan a la escala con la que se calibró el gato de tensado (Ver anexo # 26).
- Calcular las deformaciones esperadas para cada ciclo de carga.



- Verificar que las deformaciones para los escalones de carga sean similares a las obtenidas teóricamente.
- Una vez llevado el anclaje a un valor de 1.2 veces de su carga de trabajo, se procederá a la descarga del anclaje y consiguiente clavado de las cuñas.
- Verificar que la pérdida de carga en el tensado no sea muy significativa.
- Observar que se llegue a la carga de diseño sin problemas ni señales de fluencia entre los distintos ciclos de carga.
- Visita para inspección del proceso constructivo de los anclajes en los depósitos de las empresas.

En el anexo # 27 se encontrará una planilla para el control del proceso de tensado de un anclaje.

#### **3.5.4. Control de calidad de Anclajes.**

- Instrumentación de Anclajes:

Cuando las condiciones del proyecto lo requieran y a objeto de hacer un seguimiento e instrumentación de los anclajes ejecutados, se puede recurrir a dispositivos capaces de medir la carga de un anclaje a través del tiempo y así evaluar su comportamiento. Un ejemplo de estos dispositivos son las llamadas Celdas de Carga.



➤ Celdas de Carga:

Una Celda de Carga se ubica entre la plancha metálica y el cabezal del anclaje, y consiste en dos discos de acero delgado que a su vez comprimen un disco central que mantiene un fluido hidráulico confinado y calibrado (Ver anexo # 28.1 y # 28.2). Cuando una carga es aplicada sobre este disco central, la presión de este fluido cambia y ésta variación, que representa una carga, puede ser leída directamente con un manómetro conectado a la celda en forma hidráulica (Ver anexo # 28.3), con una bomba manual o en forma electrónica.

Un incremento en el valor de las lecturas de la celda, indicará que el anclaje está sometido a una carga mayor a la cual fue bloqueado, por tanto hay un empuje sobre la pantalla que se refleja en los anclajes.

Si por el contrario existe una disminución de las lecturas iniciales tomadas en la celda, nos indica que el bulbo se está desplazando y la carga que el anclaje está transmitiendo a la pantalla es menor. Corresponderá al ingeniero del proyecto la interpretación de estas variaciones observadas en un determinado período y las acciones a tomar. Estas variaciones pueden ser registradas en una planilla de control que se muestra en el anexo # 29.

➤ Verificación de carga de un Anclaje:

Cuando no se haya colocado sobre algún anclaje alguna Celda de Carga que nos permita observar como varía la carga aplicada sobre el anclaje en el tiempo, y cuando se requiera una información precisa sobre la condición actual de tensiones de los anclajes existentes, es preciso realizar este ensayo.



Esta verificación nos permite cuantificar las ganancias o pérdidas de tensiones en cada tirante, y una vez evaluados por personal calificado tomar los correctivos necesarios para la seguridad de la obra y de terceros.

Esta preocupación surge principalmente cuando son ejecutadas pantallas con anclajes provisionales, en los cuales se dejan las reservaciones para losas, vigas y columnas, y la obra sufre una paralización inusual, por lo que los anclajes superan en 2 y 3 veces su vida útil. En ciertos casos, la pérdida o incremento de carga puede ser mayor al 20%, en consecuencia el(los) anclaje(s) deberán ser retensados a la carga de trabajo que tuvieron durante la fase de diseño.

➤ Procedimiento para la verificación de carga de un Anclaje:

Colocar sobre el cabezal del anclaje, un cabezal de destensado (Ver anexo # 30), que es un elemento que mantiene pisada con el uso de unas pestañas, el cabezal, mientras permite que la guaya se desplace. Cuando se aplica sobre la guaya una carga mayor a la carga de bloqueo de esa guaya, se observará una oscilación en la aguja del manómetro incorporado a la bomba de tensado, la guaya mostrará un desplazamiento y las cuñas tenderán a salir de su posición original.

Esta primera lectura en el manómetro, que a su vez representa un valor en toneladas, es lo que se llama fricción por cuñas, valor que es entre 10% a 20% superior a la carga de bloqueo, ya que generalmente estas verificaciones se hacen sobre cabezales de anclajes viejos, en los cuales las cuñas están muy adheridas y cementadas sobre los huecos de los cabezales y con presencia, usualmente de óxido. Se deberá tomar esta lectura, descargar el gato de tensado, colocar removedor de óxido, y tomar una segunda lectura de desbloqueo. Esta segunda lectura es la verdadera carga de bloqueo de ese anclaje.



➤ Prueba de Aceptación y Rechazo:

El tensado de los anclajes estará íntimamente ligado con procedimientos de control de calidad al momento de su construcción: Pruebas de Aceptación y Rechazo, Pruebas de Carga y Pruebas de Adecuación de Anclajes.

La ejecución de las pruebas será responsabilidad de la contratista, quien la realizará bajo supervisión y coordinación de la inspección. Los resultados de las pruebas serán interpretados y evaluados por la inspección, quien calificará si los resultados son satisfactorios o no.

Tanto la Prueba de Carga como la Prueba de Adecuación de Anclajes, por su complejidad, deberán ser realizadas por personal especializado y bajo estrictas condiciones de cuidado. No corresponde a este trabajo la definición y aplicación de dichas pruebas.

Sin embargo, la prueba de Aceptación y Rechazo es comúnmente usada con la finalidad de verificar si el anclaje se encuentra en capacidad de soportar su carga de diseño o carga de trabajo. Dependerá del proyectista fijar en las especificaciones si es necesaria la realización de esta prueba, si ese fuera el caso, se deberá aplicar el procedimiento a seguir según la norma DIN 4125.

➤ Ejemplo del procedimiento a seguir para la prueba de Aceptación y Rechazo:

Transcurridos mínimos siete (7) días a partir de la inyección del anclaje y vaciado de la losa de concreto proyectado, se podrá proceder a su tensado. Como parte de esta operación, por lo menos uno de cada cuatro (4) anclajes deberá ser sometido a una prueba de Aceptación y Rechazo hasta una carga máxima de 1,50 veces su carga de trabajo, siguiendo el procedimiento descrito a continuación.



### General

Por cada anclaje fallado se deberá someter a prueba de aceptación y rechazo dos (2) anclajes adicionales, preferiblemente de los que se encuentran alrededor del elemento defectuoso. En el caso de los anclajes sometidos a prueba, la carga se aplicará en incrementos iguales y sucesivos, no mayores que el 25% de la carga de trabajo. Durante la prueba se registrará para cada escalón de carga, junto a la fuerza aplicada, la deformación acumulada de la guaya. En cada escalón de carga, y en particular para la carga de prueba máxima, se observará si la misma es soportada por el anclaje sin señales de fluencia. A este efecto la deformación se medirá al 1, 2, 4, 8, 15, etc. min., hasta que el desplazamiento entre dos lecturas sucesivas sea menor que 1mm. Si la estabilización de las deformaciones, expresada en los términos anteriores no se logra en un plazo de 30 min se suspenderá el tensado y se rechazará el anclaje.

Terminada la prueba, se deberá calcular la longitud elástica del anclaje:

$$LE = (\delta * A * E) / (Q - Q_0)$$

Este valor se deberá encontrar entre:

$$LL \leq LE \leq LL + \frac{1}{2} LB$$

Una vez alcanzada la máxima carga de la prueba, el anclaje será descargado y se procederá al tensado hasta su carga de diseño o trabajo y su bloqueo definitivo. (INGEOTEC; 2001)



### 3.6. A nivel de obra en General.

- Verificar que se protejan las guayas, cabezales y cuñas con grasa anticorrosiva.
- Verificar que se coloque el capuchón tronco-piramidal de concreto con el fin de proteger las cuñas, cabezales y parte de las guayas sobresalientes.
- Verificar que no se corten las guayas que quedan por fuera del capuchón.
- Verificar que desde la llegada de los anclajes hasta el día de su colocación, estos estén ubicados en lugares que impidan su contaminación.
- Verificar que se realicen lecturas periódicas de las celdas de carga para controlar posibles variaciones.
- Es responsabilidad de la Empresa Contratista realizar el “Plano como Construido”, el cual reflejara las modificaciones realizadas en el proyecto como por ejemplo: eliminación o adición de anclajes, configuración definitiva de la pantalla, detalles de bermas, cortes significativos, etc. La importancia de este plano radica en que cualquier obra futura que se desee realizar en las cercanías de la zona de influencia de los bulbos podría afectar la capacidad de carga de los anclajes, y en consecuencia podría comprometer la estabilidad de la pantalla.



## CONCLUSIONES.

---

Durante el desarrollo de los objetivos propuestos al inicio de la realización de este trabajo, se pudo observar que en el área de la Geotecnia, existe multiplicidad de soluciones para un mismo problema, dependerá del enfoque del proyectista identificar los factores que pueden incidir en el evento Geotécnico, para el análisis de las diferentes alternativas.

Una vez que el proyectista ha asumido una solución, la misma se materializa en los planos de proyecto, los cómputos de obra, las especificaciones y en unos métodos constructivos para obras con cierto grado de dificultad. Es responsabilidad tanto del Ingeniero Residente como del Ingeniero Inspector, velar por el cumplimiento de todas las normas y especificaciones constructivas contenidas en el proyecto.

En nuestro caso la solución estudiada fue una Pantalla Atirantada, siendo ésta una de las más comúnmente utilizadas por su capacidad de adaptación a las condiciones físicas del terreno, a las condiciones geotécnicas, por su práctica ejecución en campo, y por su posible instrumentación para un control periódico, entre otras.

De la importancia y magnitud de la obra dependerán, tanto los factores de seguridad, como los controles que se ejerzan sobre la obra, antes, durante y después de su ejecución, éstos estarán contenidos en las especificaciones generales y particulares del proyecto.

Debido al alto grado de especialización que involucran todas las actividades que se realizan durante la ejecución de una pantalla atirantada



(perforación, inyección, tensado, vaciado de concreto, instrumentación), es de suma importancia, que todo el personal, así como sus supervisores inmediatos, y el personal de inspección, posean la suficiente idoneidad, que garantice la correcta ejecución de todas las etapas constructivas.

Ciertos terrenos pueden mostrar un comportamiento errático en sus características, este comportamiento deberá ser notificado al Ingeniero Proyectista, el cual, después de analizar esta información, podrá introducir ciertas modificaciones en el proyecto. Estas modificaciones se deberán reflejar, al final de la obra, en el plano como construido.

Ya que el presente trabajo está dividido en dos grandes renglones, los cuales son Métodos Constructivos y Criterios de Control en obra, creemos que puede ser de suma utilidad la información contenida en el mismo, tanto para un Ingeniero Residente, encargado de su ejecución, como para un Ingeniero Inspector, encargado de la supervisión de la obra.

Este trabajo se ha fundamentado en una experiencia práctica de donde hemos extraído los puntos más relevantes de todo el proceso constructivo, sin pretender profundizar en alguno de ellos. Como bien se establece en el título hemos intentado crear una guía práctica que oriente y ordene las tareas técnicas y de ingeniería que se requieren durante la ejecución de este tipo de trabajo. Entendemos que cada tópico aquí tratado requiere por parte del ingeniero proyectista su ampliación y profundización.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

---

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). *Guide to Shot-crete*. ACI 506R-90(95). Fifth printing. Michigan, United States of America, 1997, 41 p.

CENTENO PULIDO, Francisco A. *Fallas de origen antrópico en taludes de zonas urbanas. Comentarios de 2 Casos Históricos*. En: XVI Seminario Venezolano de Geotecnia, (Caracas 7-9 de Noviembre de 2000). 2000, P. 81-124.

INGEOTEC. *Estudio Geotécnico y Proyecto de Estabilización pantalla colapsada. Calle Panorama, Parroquia San José, Municipio Libertador, Distrito Federal*. Informe inédito, Caracas, 2001.

JUAREZ BADILLO, Eulalio. y RICO RODRIGUEZ, Alfonso. *Mecánica de Suelos: Tomo 1*. 3ra edición. Editorial Limusa, México, D.F., 2004, 642 p., ISBN968-18-0069-9.

PEREZ GUERRA, José Bernardo. *Requisitos mínimos para los Estudios Geotécnicos*. En: XVI Seminario Venezolano de Geotecnia, (Caracas 7-9 de Noviembre de 2000). 2000, P. 291-308.



RODRIGUEZ J., Nelson D. *Diseño Geotécnico – Estructural de Pantallas Ancladas*. En: X Seminario Venezolano de Geotecnia, (Caracas 17-21 de Octubre de 1988). 1988, P. 123-127.

SABATINI, P.J., PASS, D.G., y BACHUS, R.C. *Geotechnical Engineering Circular No. 4: Ground Anchors and Anchored Systems*. Report No. FHWA-IF-99-015. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington , DC, United States of America, 1999, 281p.

SISTEMAS ATBT C.A. *Diseño de Obras de Estabilización S/E Boyacá. Especificaciones Técnicas y Cómputos Métricos*. Informe inédito. Caracas, 1996, 85 p.

UCAR NAVARRO, Roberto. *Manual de anclajes en la ingeniería civil* (en línea), Capítulo I : Los anclajes como elemento estabilizador en las obras civiles y mineras. Madrid, 2004. Disponible en Web:

[http://150.185.138.130/serbiula/libros-electronicos//Libros/manual\\_anclaje/pdf/CAPITULO1.pdf](http://150.185.138.130/serbiula/libros-electronicos//Libros/manual_anclaje/pdf/CAPITULO1.pdf)

VIGNALI C., Mario. *Evaluación y Obras de Estabilización del deslizamiento ocurrido en el talud entre calle C-5 y la Avenida 1 de la Urbanización La Boyera, Municipio El Hatillo, Estado Miranda*. Informe Inédito. Caracas, 2005, 23 p.



WITOLD MEIJER, Jerzy. *Curso de muros de contención (Diseño e Inspección)*. Organizado por la Sociedad Venezolana de Ingeniería de Inspección, Dirección y Supervisión de Obras. Caracas.

XANTHAKOS, Petros P. *Ground Anchors and Anchored Structures*. John Wiley and Sons, Inc. United States of America, 1991, 686 p.

**ANEXOS**



ANEXO NO. 1.

EJEMPLO DE UN PLANO DE DETALLES DE UNA PANTALLA  
ATIRANTADA.

---



ANEXO NO. 2.

## ANEXO NO. 2.

### RANGOS DE VALORES COMUNES PARA ESPECIFICACIONES DE LAS DISTINTAS ACTIVIDADES QUE INTERVIENEN EN UNA PANTALLA.

---

Según las normas ASTM A416, COVENIN para concreto proyectado y ACI 506R-90(95); y según la experiencia en campo, se tiene:

#### CONCRETO PROYECTADO.

- Resistencia: puede variar de 210 Kg/cm<sup>2</sup> a 350 Kg/cm<sup>2</sup>.

#### INYECCIÓN DE LECHADA.

- Presión de inyección: varía entre 2 Kg/cm<sup>2</sup> a 10 Kg/cm<sup>2</sup>. Dependerá de las condiciones del terreno y de los equipos de inyección.
- Relación Agua/cemento: entre 0,4 y 1 (medida en peso).
- Tiempo de espera requerido para el sellado de la manguera: 3 min a 5 min.

#### PERFORACIONES.

- Longitud de la perforación:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Min. 6 metros.} \\ \text{Max. 30 metros.} \end{array} \right.$



- Diámetro de la perforación: de 8mm. a 150mm. Dependerá de la cantidad de guayas que tenga el anclaje.
- Longitud de Bulbo: entre 4 m. y 12 m. (dependerá de la longitud del estrato).

#### TIRANTES.

- Capacidad: de 20 T a 60 T.
- Combinaciones guaya-diámetro: (Valores aproximados)

Número de guayas	Capacidad con $\Phi = 1/2''$	Capacidad con $\Phi = 5/8''$
2	20 TON	30 TON
3	30 TON	45 TON
4	40 TON	60 TON
5	50 TON	-
6	60 TON	-

- Plancha de apoyo: desde 10x10 hasta 30x30 (medidas en centímetros).
- Espesores de plancha de apoyo: de 1/2" a 1".
- Cabeza: { Diámetro: de 70 mm. a 120 mm (se mecanizara dependiendo del número y diámetro de guayas).  
Altura: desde 45mm. a 60 mm.
- Cuñas: deberán ser importadas y respetar un ángulo de 7°.



## PANTALLA

- Espesor:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Si es estructural: entre 20 cm. y 30 cm.} \\ \text{Si es una pantalla claveteada, solo para el control de} \\ \text{erosión: de 10 cm. a 15 cm.} \end{array} \right.$
- Recubrimiento (interior y exterior): de 2,50 cm. a 5 cm.
- Separación entre anclajes (tanto vertical como horizontal): de 1,50 m a 3,50 m.



ANEXO NO. 3.

GLOSARIO DE EQUIPOS NECESARIOS PARA LA EJECUCIÓN  
DE UNA PANTALLA ATIRANTADA.

---

**Equipos necesarios a nivel de Reperfilamiento.**

Showel, minishowel y retroexcavadora: Son de las máquinas más versátiles en las áreas de construcción en lo que se refiere a movimientos de tierra y traslado de materiales. Diseñadas para cumplir con las más altas exigencias en cuanto a seguridad y por sobre todo de la vida útil de la máquina. Dependerá del volumen de tierra que se desee excavar la escogencia de alguna de las tres, sin embargo todas tienen la capacidad de cargar y transportar.



Anexo N° 3.1 Showel.



Anexo N° 3.2 Mini-  
Showel



Anexo N° 3.3 Retroexcavadora.



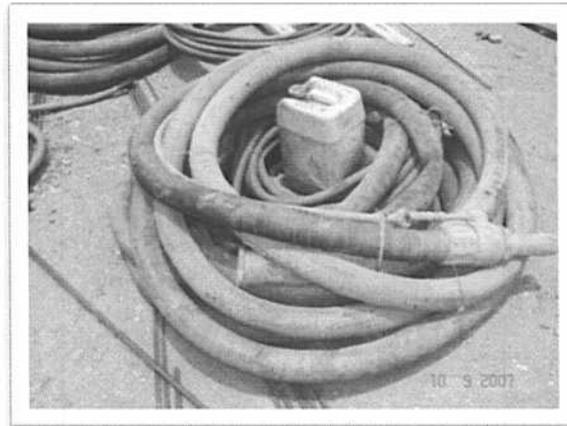
### Equipos necesarios a nivel de Concreto proyectado.

Gunitadora: Equipo que funciona como una bomba para el concreto a proyectar. Como motor puede servir un motor eléctrico, de diesel, hidráulico o de aire. El volumen de proyección dependerá del diámetro de la manguera y de la boquilla, del rotor empleado y de la velocidad de revolución del rotor. Es importante una revisión periódica de los discos de goma de los platos, ya que se desgastan frecuentemente.



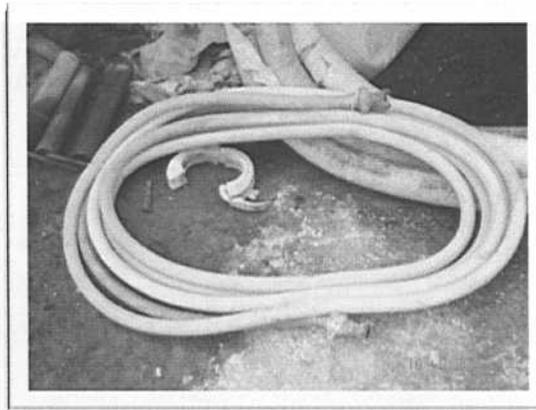
Anexo N° 3.4 Gunitadora o proyectadora de concreto.

Manguera mezcla-aire: Conducto encargado de transportar la mezcla seca hasta la boquilla a través de la cual es proyectada. Generalmente es de goma y deberá permitir un flujo continuo, ser resistente y permitir una acción rápida.



Anexo N° 3.5 Manguera a través de la cual es transportada la mezcla seca.

Manguera agua: Conducto de goma cuya función es suministrar agua a la mezcla seca. El agua es bombeada con una bomba de agua (puede conectarse a una toma con presión si la hubiera) hasta llegar a la boquilla, en donde sale a través de pequeños orificios ubicados a lo largo del diámetro de la boquilla.



Anexo N° 3.6 Manguera de agua.

Mezcladora: Equipo metálico donde se deposita y se mezclan los agregados con el cemento, dando origen a la mezcla seca que será proyectada



por la gunitadora. Deberá ser capaz de unificar la mezcla y mantener un continuo suministro.



Anexo N° 3.7 Mezcladora de cemento y agregados.

Boquilla: Elemento metálico ubicado al final de la manguera por donde es transportada la mezcla y el aire, y que a su vez tiene conectada la manguera que suministra el agua por medio de una llave (válvula reguladora). En la boquilla es donde se lleva a cabo la mezcla final a proyectar.



Anexo N° 3.8 Boquilla de inyección.



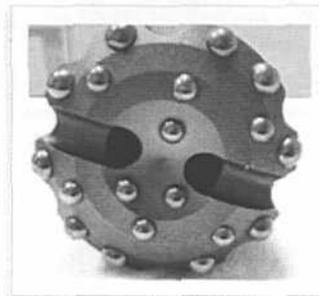
### Equipos necesarios a nivel de Perforación.

Perforadora: Equipo que permite la excavación de huecos a gran profundidad utilizando martillos o brocas cuyas características varían según el tipo de terreno. Puede llegar a tener tres (3) movimientos: el de rotación de la broca, el de avance de penetración de la broca, y el de percusión de la broca. Para cada movimiento existe un motor los cuales trabajan con aire comprimido. Puede estar apoyada sobre orugas, ruedas o sobre andamios.



Anexo N° 3.9 Perforadora.

Brocas y martillo: Herramientas mecánicas de corte, generalmente metálicas, cilíndricas y de diferentes diámetros. Existe gran variedad de modelos con diferentes funciones y su uso depende del tipo de suelo en el que se desean utilizar.



Anexo N° 3.10 Broca de perforación.



Varillas de metal: Elemento cilíndrico de diámetros variados, que mide aproximadamente de 2m a 3m de largo y que se une al martillo para perforar a mayores profundidades.



Anexo N° 3.11 Varilla de metal.

### **Equipos a nivel de Inyección.**

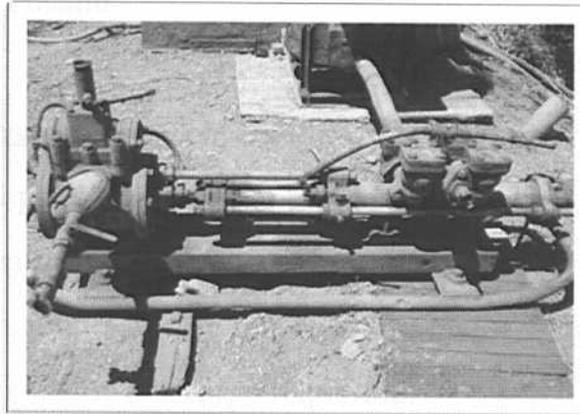
Batidora: Equipo encargado de mezclar el mortero necesario para la inyección de los anclajes.



Anexo N° 3.12 Batidora.



Inyectora: Equipo que bombea la lechada ya mezclada en la batidora, hacia la manguera de inyección del anclaje.



Anexo N° 3.13 Inyectora.

Banco de inyecciones: equipo conectado a la inyectora que contiene un manómetro que mide la presión a la cual se inyecta la mezcla. Deberá estar calibrado con las unidades adecuadas.



Anexo N° 3.14 Banco de inyección.



Anexo N° 3.15 Manómetros integrados al banco de inyección.

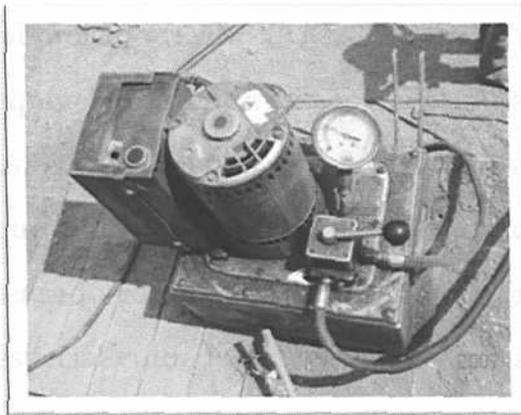


Línea de mangueras: unen el recorrido desde el banco de inyección hasta la manguera de inyección del anclaje. Habrá que evitar en lo posible grandes longitudes de recorrido.

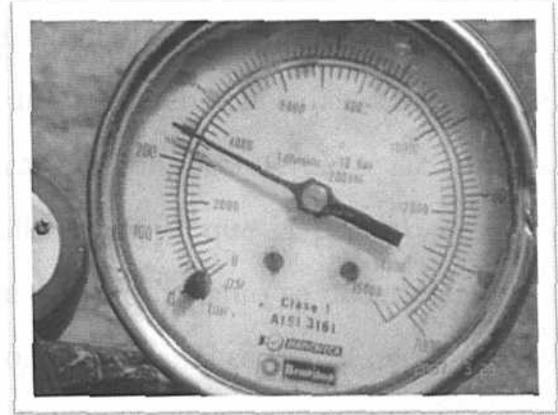
### Equipos a nivel de Tensado.

Bomba de tensado: Es la encargada de aplicar la presión hidráulica necesaria para que el pistón se desplace a cada escalón de carga, esta presión puede ser aplicada en forma manual, con un motor eléctrico, con un equipo neumático, o con un motor a gasolina, lo importante es que se aplique la presión de aceite equivalente a la carga requerida.

Estas bombas estarán equipadas con un manómetro de alta capacidad, en donde se podrá apreciar la variación de la presión aplicada, la cual equivale a incrementos sucesivos de la carga sobre el anclaje.



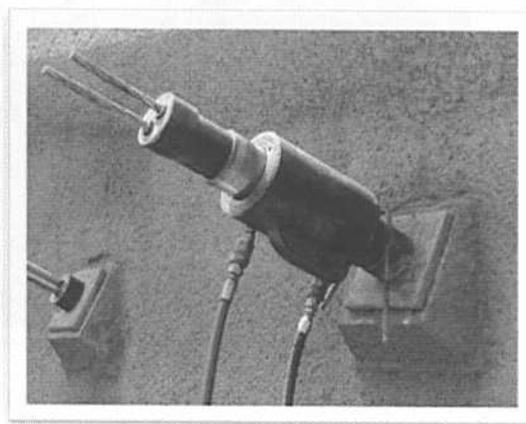
Anexo N° 3.16 Bomba de tensado.



Anexo N° 3.17 Manómetro integrado a la bomba de tensado.



Gato hidráulico de tensado: Encargado de aplicar la carga sobre el conjunto de guayas, la capacidad del gato dependerá directamente de la carga de trabajo del anclaje, y el recorrido del pistón debe ser suficiente para efectuar el tensado en una sola etapa. La capacidad final del gato deberá ser un 60% u 80% mayor que la carga de trabajo del anclaje para evitar que el equipo trabaje al límite de sus capacidades.



Anexo N° 3.18 Gato hidráulico.

Calibración del gato: Es el resultado de un ensayo, realizado por un laboratorio (IMME, UCAB, INVESTI) donde se detalla en forma tabulada la equivalencia entre una presión de aceite y una carga en toneladas. Ya que estos manómetros están dotados de dos escalas es importante observar en que unidad de presión fue realizada la calibración, ya que el proceso de tensado es una aplicación de una presión de aceite, por tanto se debe tener especial cuidado en leer sobre el manómetro, en la misma escala en que fue realizada la calibración (PSI, BAR, KPA) de lo contrario, se podría estar aplicando sobre el anclaje una carga equivocada, con el riesgo de fallarlo o aplicarle una carga inferior a la carga requerida según proyecto.



#### ANEXO NO. 4.

### IMÁGENES REPRESENTATIVAS REFERENTES A LA PREPARACIÓN DEL TERRENO EN DONDE SE CONSTRUIRÁ UNA PANTALLA.

---



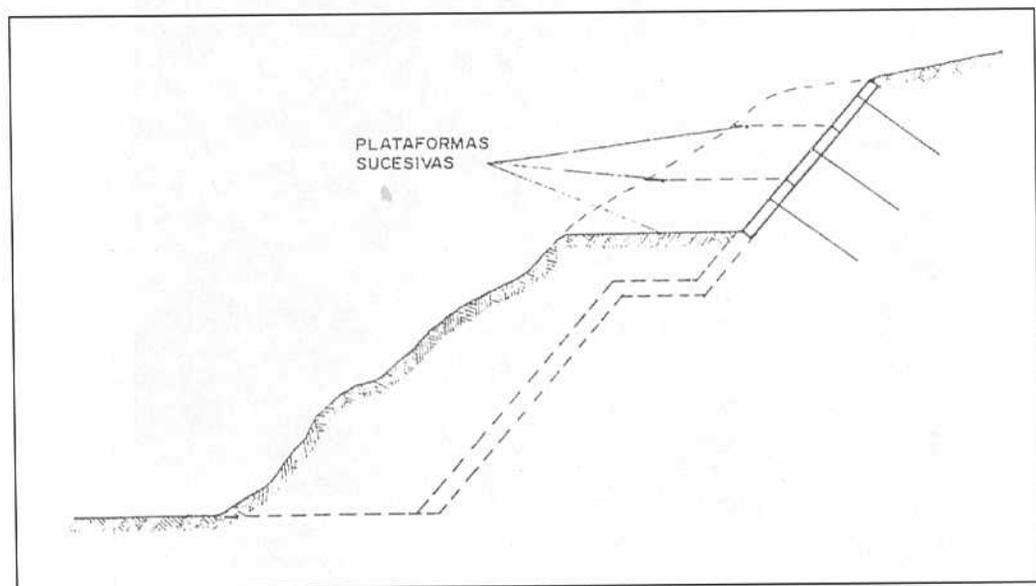
Anexo N° 4.1 Imagen representativa de un punto suministrado por el topógrafo durante el replanteo.



Anexo N° 4.2 Imagen representativa de terreno contaminado que deberá removerse antes de la construcción de una pantalla.



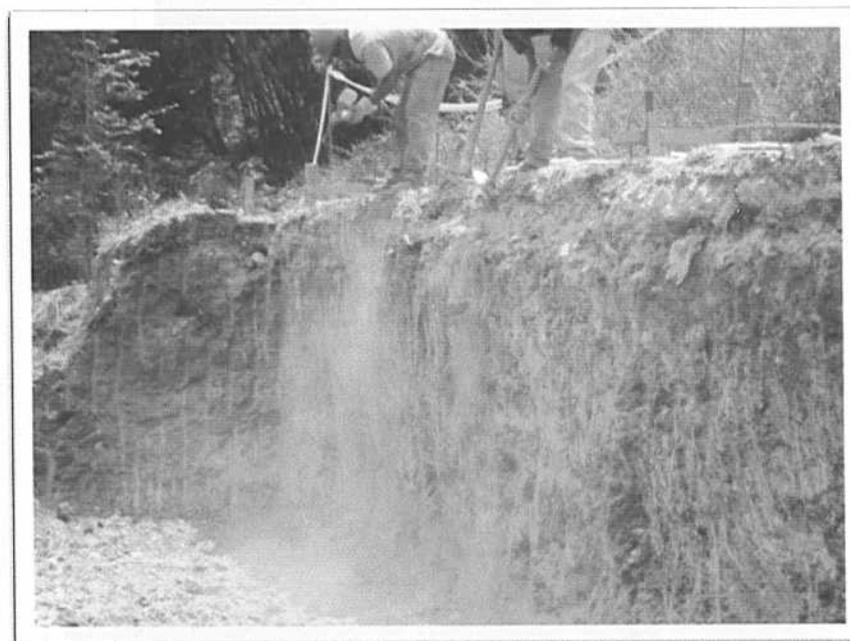
Anexo N° 4.3 Imagen representativa de la formación de bermas de apoyo.



Anexo N° 4.4 Esquema de la generación de bermas de apoyo.



Anexo N° 4.5 Imagen representativa del reperfilamiento del talud a máquina.



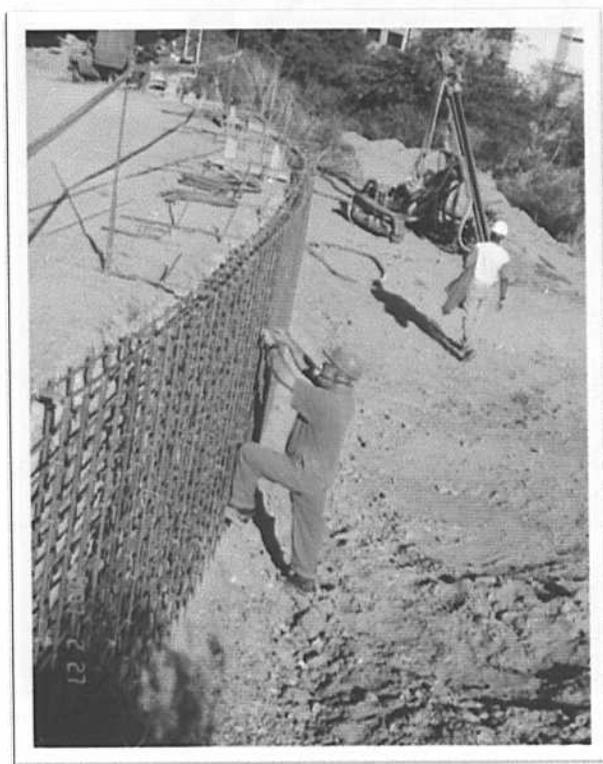
Anexo N° 4.6 Imagen representativa del reperfilamiento del talud a mano.



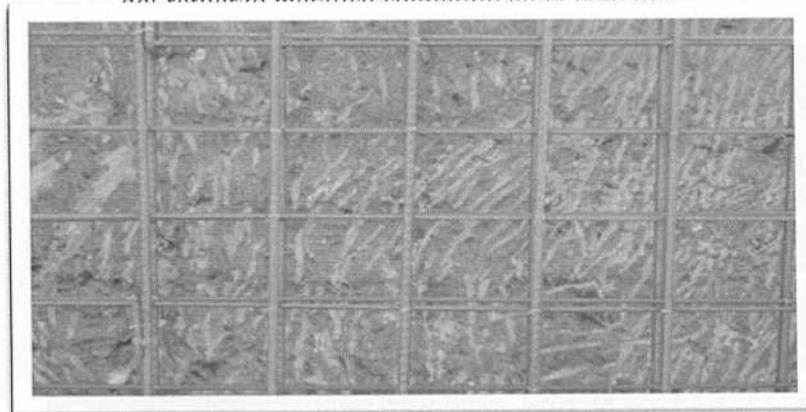
ANEXO NO. 5.

IMÁGENES REPRESENTATIVAS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL  
REFUERZO METÁLICO DE LA PANTALLA.

---

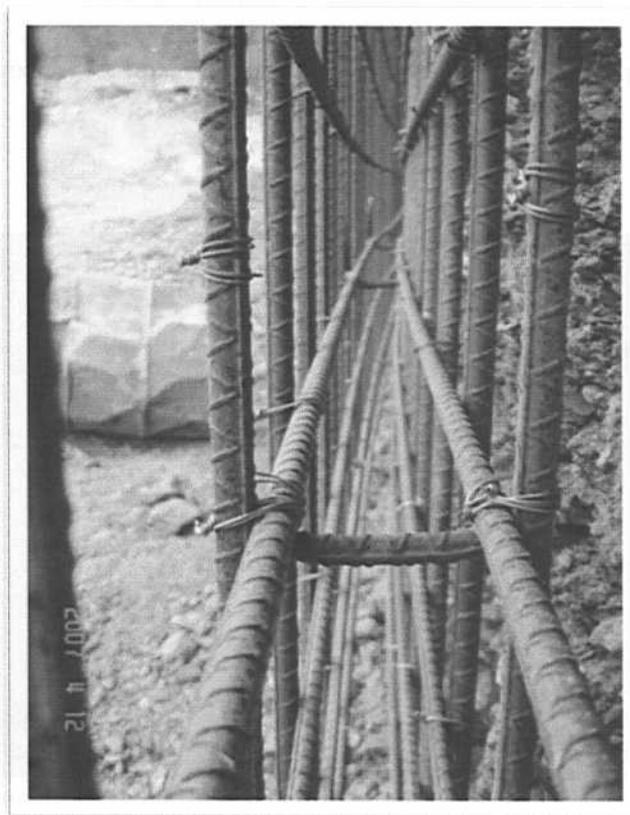


Anexo nº 5.1 Imagen representativa del armado del refuerzo metálico contenido en la pantalla.

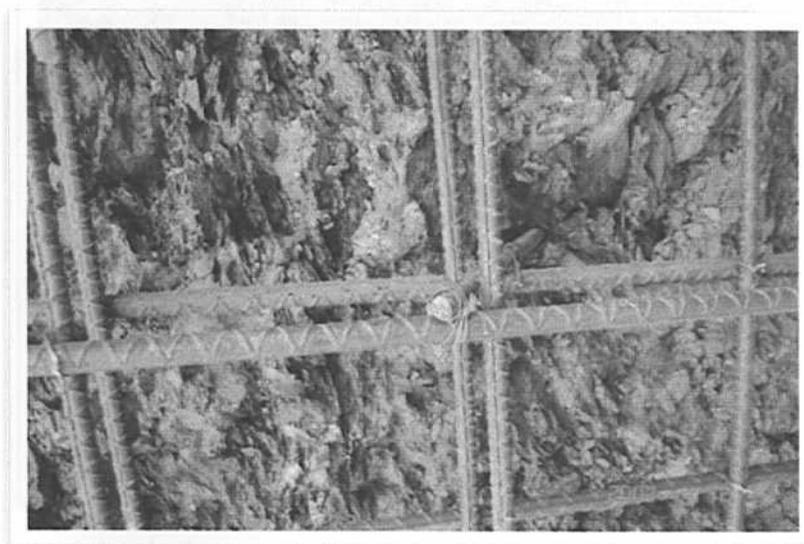




Anexo n° 5.2 Imagen representativa que muestra en detalle la separación tanto vertical como horizontal entre las cabillas.

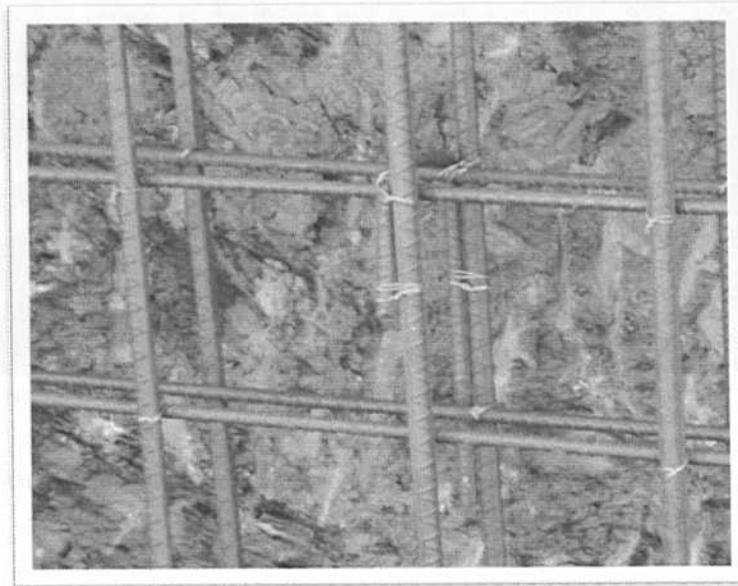


Anexo n° 5.3 Imagen representativa que muestra la separación entre las caras del refuerzo metálico contenido en la pantalla.

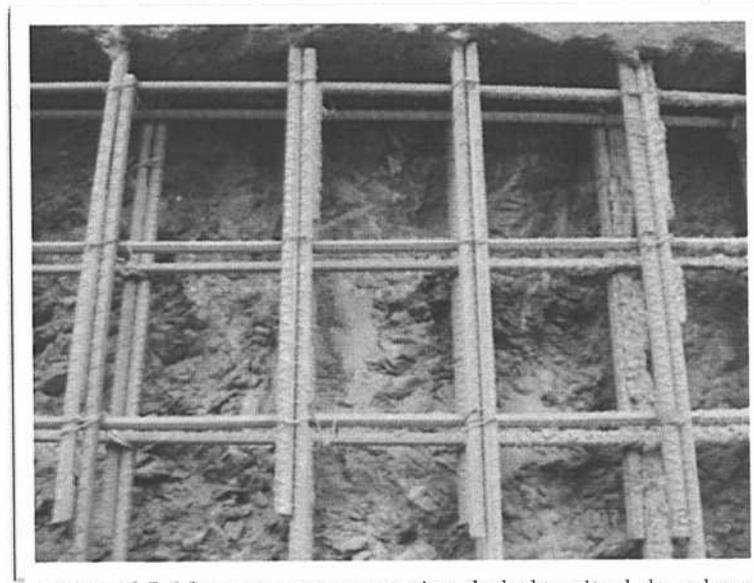




Anexo n° 5.4 Imagen representativa del elemento de soporte del refuerzo metálico de la pantalla.



Anexo n° 5.5 Imagen representativa del gancho separador de caras en el refuerzo metálico de la pantalla.



Anexo n° 5.6 Imagen representativa de la longitud de solape dejada durante el armado de un paño del refuerzo.



Anexo n° 5.7 Imagen representativa del replanteo de un punto donde se ubicará una perforación para un anclaje, dren o barbacana.



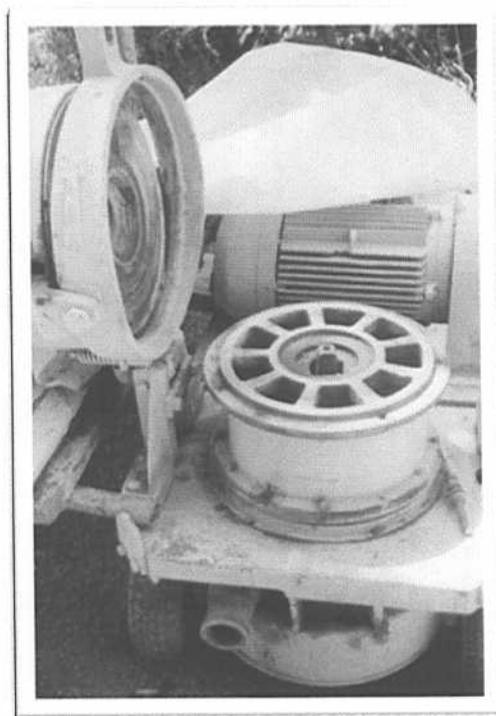
## ANEXO NO. 6.

### IMÁGENES REPRESENTATIVAS DE LA APLICACIÓN DE CONCRETO PROYECTADO SOBRE EL REFUERZO METÁLICO DE LA PANTALLA.

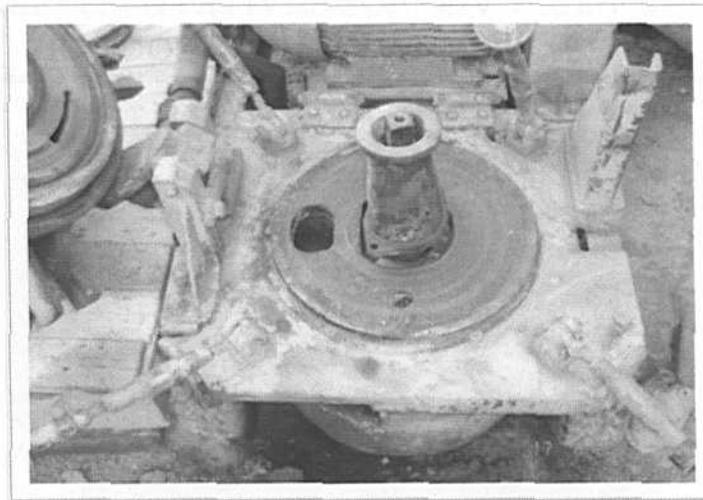
---



Anexo N° 6.1 Imagen representativa de la incorporación del agua a la mezcla seca en la boquilla.



Anexo N° 6.2 Imagen representativa del tambor giratorio de una gunitadora.



Anexo N° 6.3 Imagen representativa del orificio de salida de la mezcla seca en la gunitadora.



## ANEXO NO. 7.

### IMÁGENES REPRESENTATIVAS SOBRE-VOLUMENES EN EL TRASDÓS DE UNA PANTALLA.

---



Anexo N° 7.1 Imagen representativa de presencia de sobre-volumen en el trasdós de una pantalla.



Anexo N° 7.2 Imagen representativa de sobre-volumen en el trasdós de una pantalla. Además se observa que el refuerzo es una combinación entre cabillas y tuberías de acero.



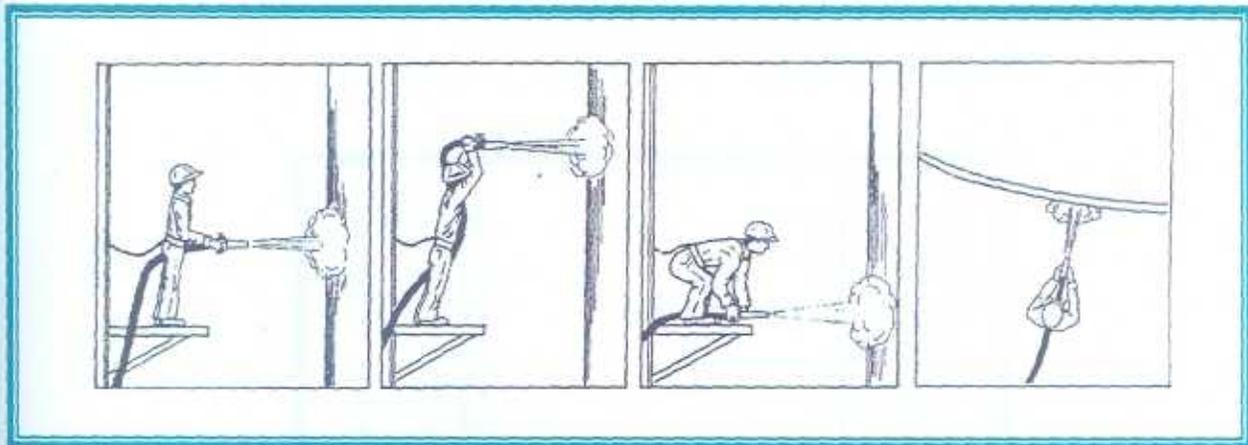


## ANEXO NO. 9.

### IMÁGENES REPRESENTATIVAS RELACIONADAS CON LA PROYECCIÓN DE SHOT-CRETE.



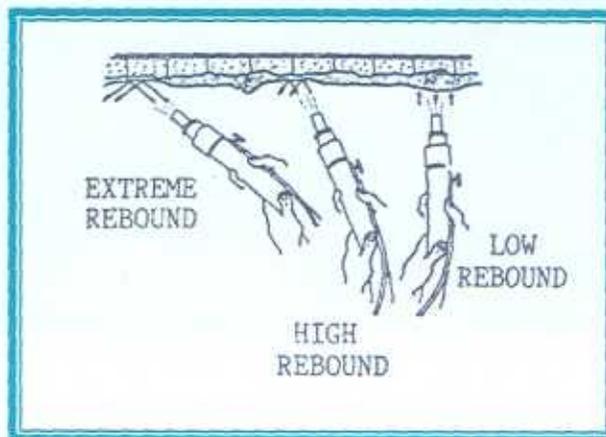
Anexo N° 9.1 Imagen representativa de la proyección de concreto.



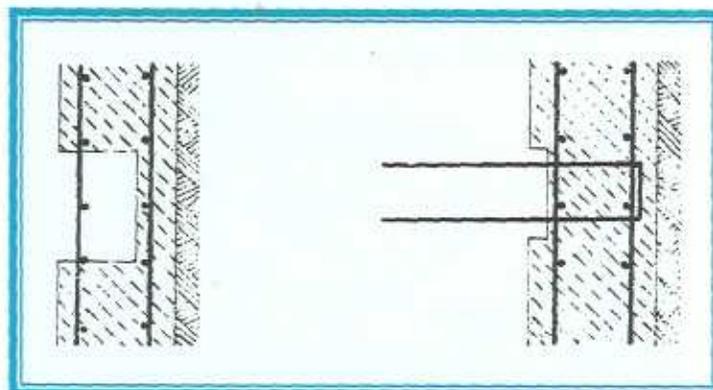
Anexo N° 9.2 Correcta aplicación del concreto proyectado.



Anexo N° 9.3 Movimiento circular que debe generarse al momento de proyectar.



Anexo N° 9.4 Angulo de la boquilla de la manguera con respecto a la pantalla.



Anexo N° 9.5 Reservas para el empotramiento de losas y columnas.

ANEXO NO. 10.

IMÁGENES REPRESENTATIVAS DEL PROCESO DE PERFORACIÓN.

---



Anexo N° 10.1 Imagen representativa de perforaciones finalizadas en la cual también se observa el material removido durante la perforación.



Anexo N° 10.2 Muestra del material removido en la perforación.



CORTE TRANSVERSAL DE LA PANTALLA

Número de Cuadrículas = 39

Espesor de la Pantalla = 0,20m

Volumen Teórico = Volumen entre la parrilla + Sobre Volumen teórico

$$\text{Área de la parrilla} = 39 * 1,5 * 1,5 = 87,75\text{m}^2$$

$$\text{Volumen entre la parrilla} = 87,75 * 0,20 = 17,55\text{m}^3$$

$$\text{Volumen teórico} = 17,55 + 5,467 = 23,017\text{m}^3$$

$$\% \text{ Rebote} = \frac{28}{23,017} = 21,6 \%$$





ANEXO NO. 11.

CERTIFICADO DE ENSAYO DE LAS GUAYAS DE UN ANCLAJE.

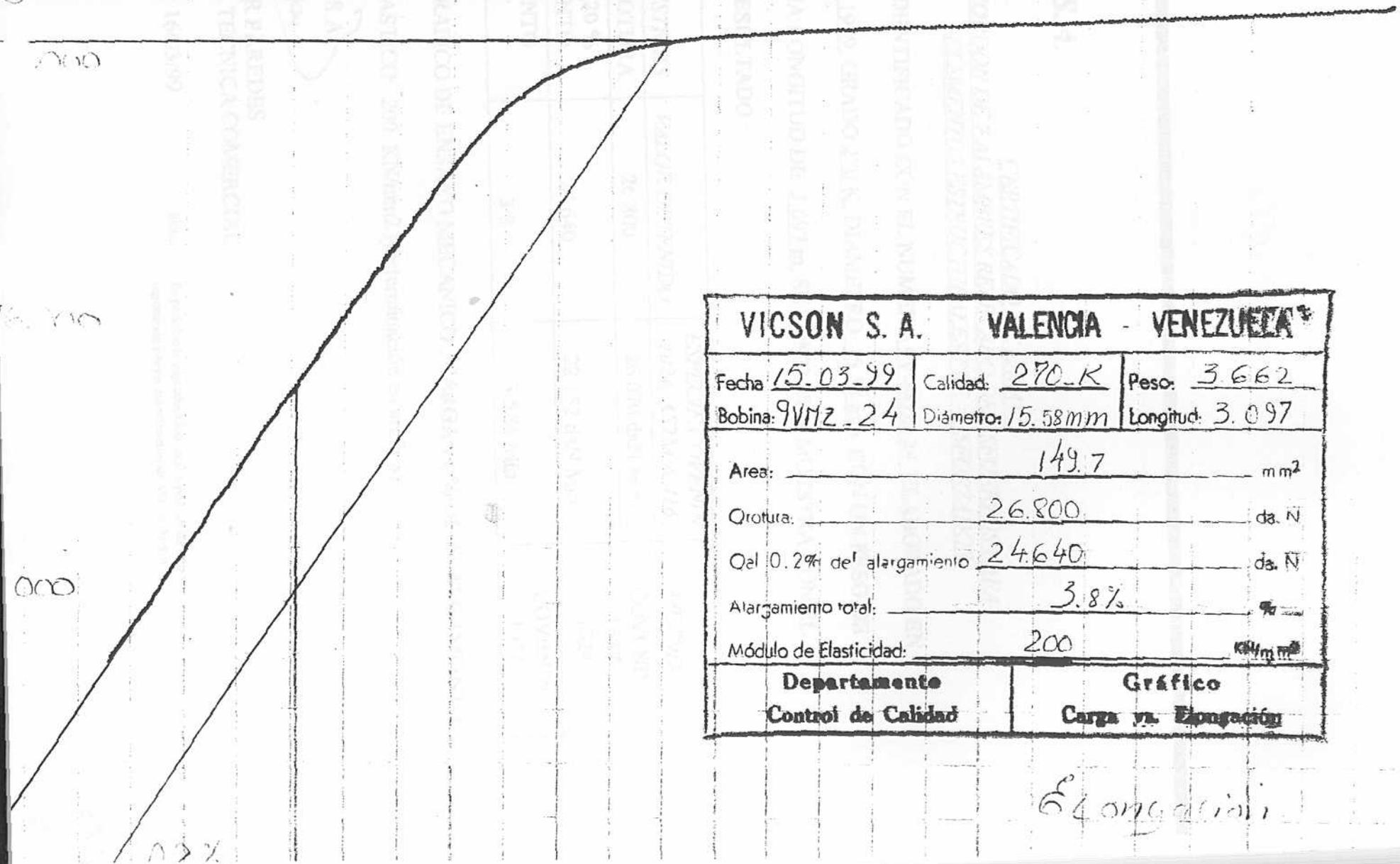
Cable

000

000

000

000



<b>VICSON S. A. VALENCIA - VENEZUELA*</b>		
Fecha: <u>15.03.99</u>	Calidad: <u>270-K</u>	Peso: <u>3.662</u>
Bobina: <u>9VMZ-24</u>	Diámetro: <u>15.58mm</u>	Longitud: <u>3.097</u>
Area: _____	<u>149.7</u>	mm <sup>2</sup>
Rotura: _____	<u>26.800</u>	da. N
Qel 0.2% del alargamiento _____	<u>24.640</u>	da. N
Alargamiento total: _____	<u>3.8%</u>	%
Módulo de Elasticidad: _____	<u>200</u>	KN/mm <sup>2</sup>
<b>Departamento</b>	<b>Gráfico</b>	
<b>Control de Calidad</b>	<b>Carga vs. Elongación</b>	

Elongación

**VICSON, S.A.**

**CERTIFICADO DE ENSAYO**  
**CORDON DE 7 ALAMBRES RELEVADO DE ESFUERZOS PARA**  
**ELEMENTOS ESTRUCTURALES PRE - ESFORZADOS**

DEL TORON IDENTIFICADO CON EL NUMERO 9V-MZO 24 ELABORADO EN  
MARZO AÑO 1999, GRADO 270 K, DIAMETRO 15,58 mm, CON UN PESO DE  
3.662 kg. Y UNA LONGITUD DE 3.097 m, SE TOMO UNA MUESTRA CON EL  
SIGUIENTE RESULTADO :

<i>CARACTERISTICAS</i>	<i>VALOR OBTENIDO</i>	<i>ESPECIF. COVENIN 1024, ASTM A 416</i>	<i>METODO</i>
CARGA DE ROTURA	26.800	26.070 daN Mín.	COVENIN 1587 1024
CARGA AL 0,20 % ALARGAMIENTO	24.640	22.152 daN Mín.	
ALARGAMIENTO TOTAL	3.8	3.5 % Mín.	COVENIN 1024

SE ANEXA GRAFICO DE ENSAYO MECANICO : CARGA vs. % DE ALARGAMIENTO.

MODULO ELASTICO : 200 KN/mm<sup>2</sup> (Determinación en gráfico)

Por VICSON, S.A

ING. WILMAR PAREDES  
ASISTENCIA TECNICA COMERCIAL

Certificado el : 16/03/99

Nota: Se prohíbe la reproducción total o parcial de este  
reporte sin previa autorización de VICSON S.A.

gb.-



## ANEXO NO. 12.

### IMÁGENES REPRESENTATIVAS DEL PROCESO DE INYECCIÓN DE UN ANCLAJE.

---



Anexo N° 12.1 Imagen representativa que muestra la inyección de la lechada.



Anexo N° 12.2 Imagen representativa que muestra el calafateo del espacio anular entre el anclaje y la perforación.



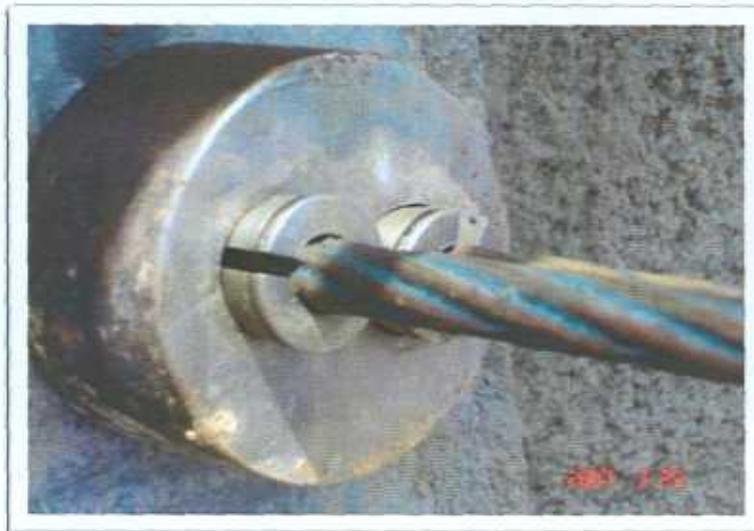
Anexo N° 12.3 Imagen representativa que muestra el sellado del tubo de inyección.



### ANEXO NO. 13.

## IMÁGENES REPRESENTATIVAS DEL PROCESO DE TENSADO DE UN ANCLAJE.

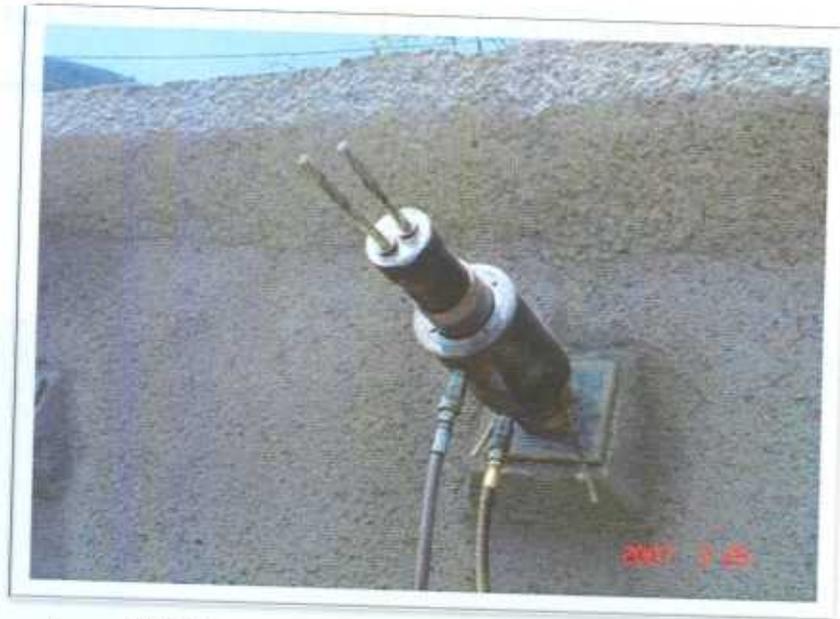
---



Anexo N° 13.1 Imagen representativa del cabezal y cuñas de anclaje. También se observa la pintura anticorrosiva en las guayas.



Anexo N° 13.2 Imagen representativa que muestra la colocación del cabezal y cuñas de tensado.



Anexo N° 13.3 Imagen representativa del gato hidráulico con la carga de acomodo aplicada.



### ANEXO NO. 14.

#### ANCLAJE TERMINADO CON LAS PROTECCIONES ANTICORROSIVAS.

---





## ANEXO NO. 15.

### IMÁGENES REPRESENTATIVAS DE LA APLICACIÓN DE DRENES.

---



Anexo N° 15.1 Imagen representativa de un dren en el cual se observa en su interior una de sus perforaciones.



Anexo N° 15.2 Imagen representativa de un dren en el cual se observa la tela de geotextil permeable.

## ANEXO NO. 16.

### IMÁGENES REPRESENTATIVAS DE LA EJECUCIÓN DE LA ZAPATA DE FUNDACIÓN.

---



Anexo N° 16.1 Imagen representativa del proceso de armado del refuerzo de la zapata.



Anexo N° 16.2 Imagen representativa de la zapata una vez terminada.

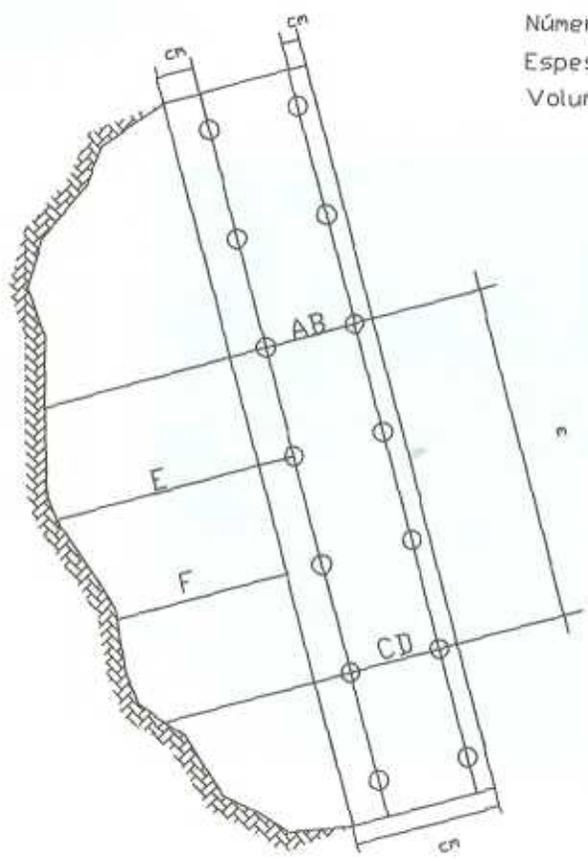


ANEXO NO. 17.

IMAGEN REPRESENTATIVA DE UN CLISÍMETRO.







CORTE TRANSVERSAL DE LA PANTALLA

Número de Cuadrículas =  
 Espesor de la Pantalla =  
 Volumen Teórico = Volumen entre la parrilla + Sobre Volumen teórico

Área de la parrilla =  
 Volumen entre la parrilla =  
 Volumen teórico =

% Rebote =



## ANEXO NO. 19.

### IMÁGENES REPRESENTATIVAS DE LA TOMA DE MUESTRA DE CORE-DRILL PARA EL CONTROL DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO PROYECTADO.



Anexo N° 19.1 Imagen representativa de la probeta normalizada que sirve para tomar muestras de concreto.



Anexo N° 19.2 Imagen representativa de la muestra en la probeta normalizada.



ANEXO NO. 20.

PLANILLA DE CONTROL PARA EL CONCRETO PROYECTADO.

Fecha

/ /
-----

OBRA:

CLIENTE:

Hora de inicio:	
Hora de culminación:	

SECTOR DONDE SE HIZO LA TOMA:

RESISTENCIA ESPERADA (Kg/cm<sup>2</sup>):

RESISTENCIA OBTENIDA (Kg/cm<sup>2</sup>):

CONCRETO SUMINISTRADO POR:

VOLUMEN DE MEZCLA SECA EN BOCA DE MEZCLADORA (m<sup>3</sup>):

OBSERVACIONES:



ANEXO NO. 21.

EJEMPLO DE ENSAYO DE COMPRESIÓN DE NUCLEOS DE CONCRETO  
(CORE-DRILL).

---



## ENSAYOS DE COMPRESION DE NUCLEOS DE CONCRETO (CORE-DRILL)

SOLICITADO POR: OBREIN, C.A.

ORIGEN: EXCELSIOR GAMA

FECHA RECIBIDOS: 23/07/2007

LA TRINIDAD

No. CAMPO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	DIAM. (cm)	ALTURA (cm)	PESO (Kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	PESO UNITARIO (Kg/m <sup>3</sup> )	CARGA DE RUPTURA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )	FACTOR	ESFUERZO CORREGIDO (kgf/cm <sup>2</sup> )
OE-475	16/05/2007	23/07/2007	8,30	15,30	1,81	54,11	2.190	16.600	307	0,999	306
CB-475	28/06/2007	26/07/2007	8,30	15,40	1,83	54,11	2.197	19.800	366	1,000	366

CURADO: NORMAL

NOTA: FACTOR DE CORRECCION SEGUN TABLA 1 NORMA COVENIN 345

OBSERVACIONES:

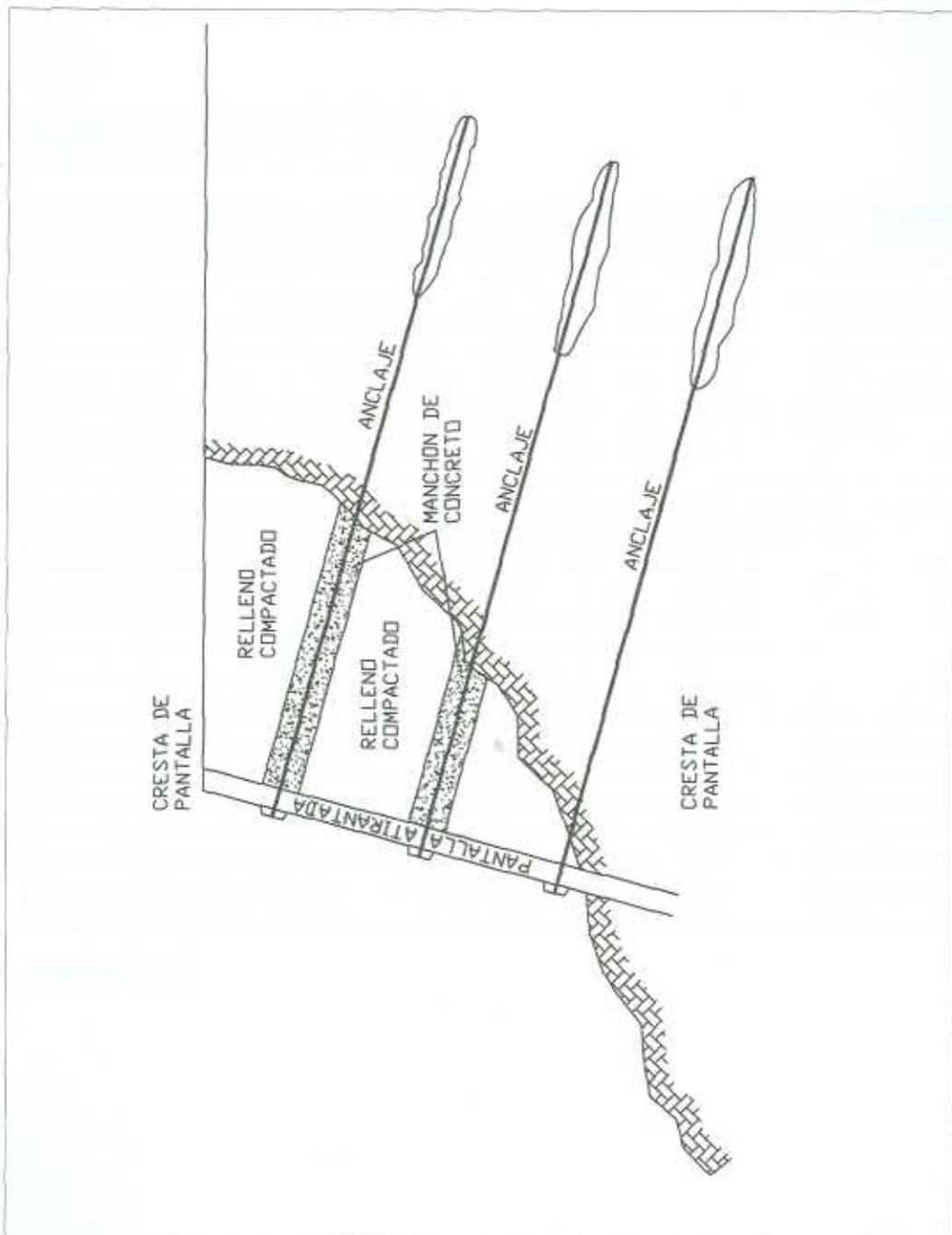






ANEXO NO. 23.

PLANO ESQUEMÁTICO DE RIGIDIZACIÓN DE ANCLAJES ENTRE EL TRASDÓS DE LA PANTALLA Y EL TALUD EXISTENTE.







ANEXO NO. 25.

EJEMPLO DE CALIBRACIÓN DE UN GATO HIDRÁULICO.



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

# CALIBRACIÓN GATO HIDRAULICO

CLIENTE: OBHREIN, C.A.  
DATOS DE CAMPO: GATO PARA TENSADO  
INFORME: MC-07-031

**EQUIPO CALIBRADOR:** PRENSA UNIVERSAL, IBERTEST  
CAPACIDAD: 100000 Kgf. ESCALA: 0-100 Kgf.

<b>EQUIPO A SER CALIBRADO</b>	<b>BOMBA DE ACEITE</b>
MARCA: <u>TIPO BOTELLA</u>	COLOR: <u>AZUL</u>
COLOR: <u>GRIS PLOMO</u>	MARCA: <u>O.T.C.</u>
CAPACIDAD: <u>61,5 Ton</u>	IDENT: <u>E-109-P-D</u>
ALTURA DEL PISTON: <u>9 cm</u>	TIPO: <u>MANUAL</u>

**MANOMETRO**  
CLASE: NO TIENE  
MARCA: MANDUVECA  
CAPACIDAD: 15000 P.S.I.

Lecturas de la Prensa Universal				Lecturas del Manómetro
Ensayo # 1	Ensayo # 2	Ensayo # 3	Promedio	( PSI )
( kgf )				( kgf )
0	0	0	0	0
5400	5600	5900	5633	400
8100	8200	8000	8100	1000
13600	12800	13600	13333	2000
19500	19300	19500	19433	3000
25100	24500	25300	24967	4000
30800	30600	30800	30733	5000
36600	36200	36800	36533	6000
41400	41600	42400	41800	7000
46500	47200	46800	46833	8000
52800	52200	53400	52800	9000

REALIZADO POR:  
Tec. JOSÉ A. MANRIQUE  
FECHA: 7/03/2007

CALCULADO POR:  
HIPA  
FECHA: 7/03/2007

REVISADO Y APROBADO POR:  
ING. HUGO PÉREZ A.  
FECHA: 7/03/2007



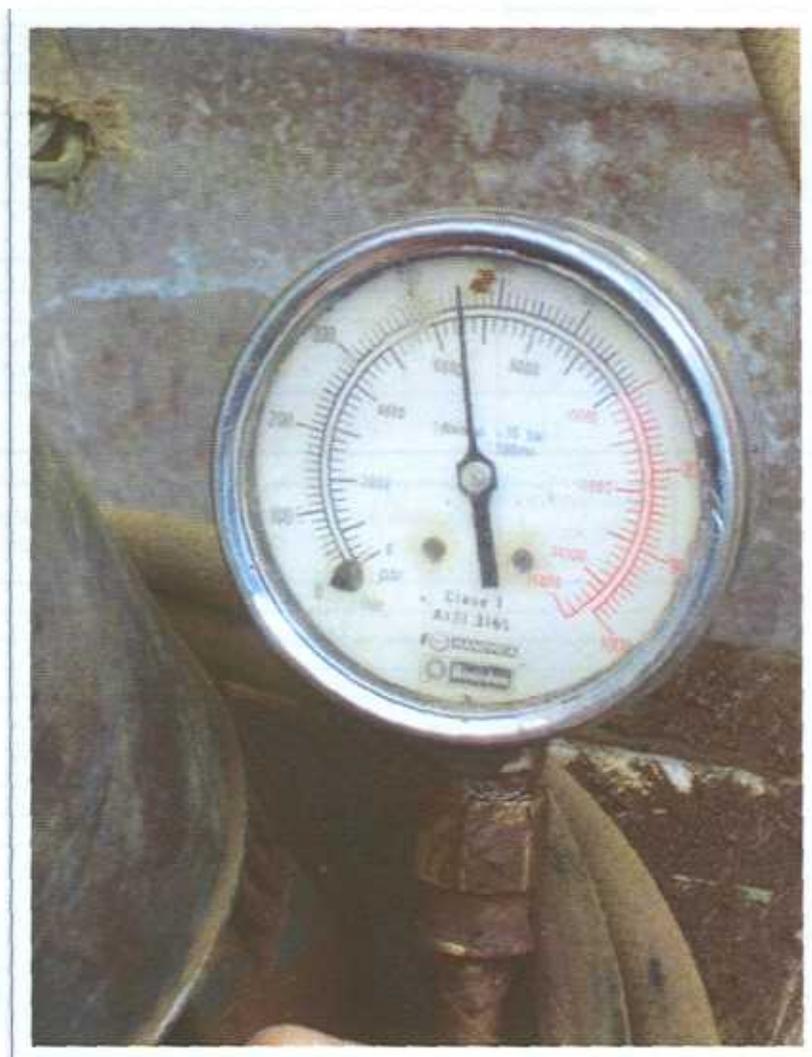
El uso de partes separadas de este informe debe ser autorizado por escrito por la UCAB



ANEXO NO. 26.

IMAGEN REPRESENTATIVA DEL MANÓMETRO CONTENIDO EN EL GATO DE TENSADO CON SUS RESPECTIVAS UNIDADES (BAR Y PSI).

---





ANEXO NO. 27.

PLANILLA DE CONTROL DE TENSADO.

Fecha

OBRA:

CLIENTE:

Hora de inicio:	
Hora de culminación:	

TIPO DE ANCLAJE:

ANGULO DE INCLINACIÓN ( °):

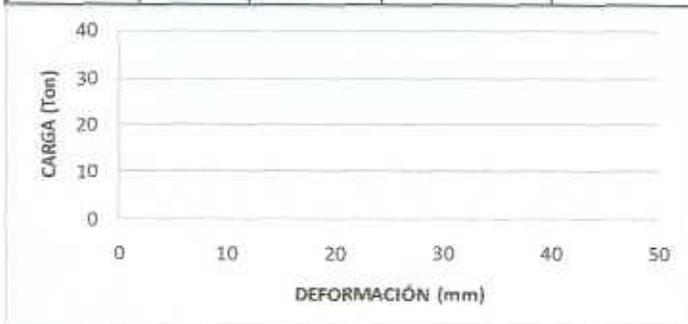
FECHA DE INYECCIÓN:

ANCLAJE			
Nº	Longitud Libre (m)	Longitud de Bulbo (m)	Longitud Total (m)

GUAYAS	
Nº DE GUAYAS	TIPO DE ACERO (Ø)

CARGA				EQUIPOS / CALIBRACIÓN ( / / )		
PRUEBA (TON)	INICIAL (TON)	SERVICIO (TON)	BLOQUEO (TON)	GATO USADO	MANÓMETRO	UNIDAD DEL MANÓMETRO

PRESIÓN (PSI)	CARGA (TON)	LECTURA (MM)	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN ACUMULADA (mm)



LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR

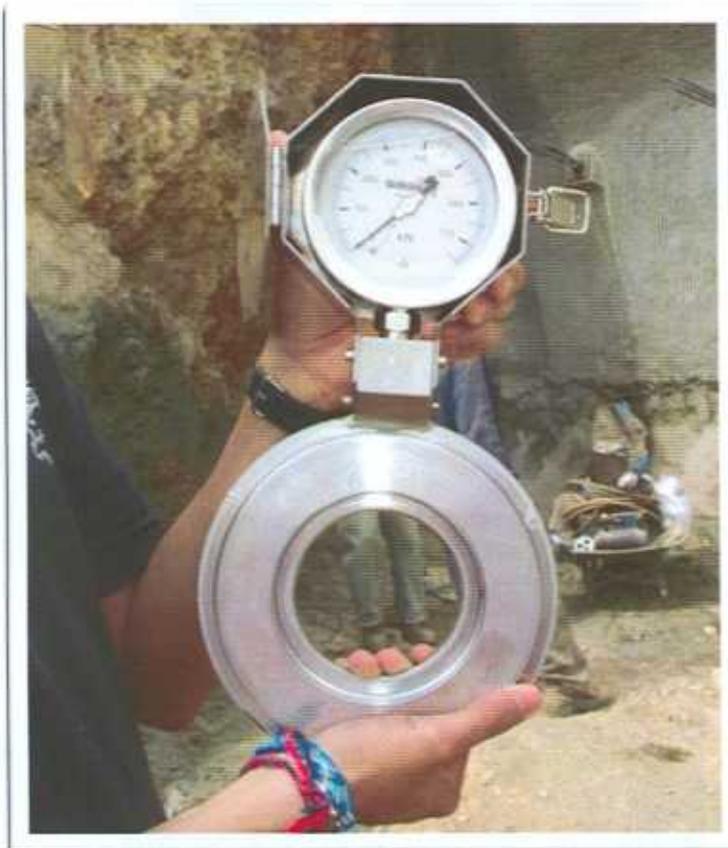
OBSERVACIONES:



## ANEXO NO. 28.

### IMÁGENES REPRESENTATIVAS DE LA APLICACIÓN DE UNA CELDA DE CARGA.

---



Anexo N° 28.1 Imagen representativa del disco central de la celda de carga donde se encuentra contenido el líquido calibrado.



Anexo N° 28.2 Imagen representativa del segundo anillo de transferencia.



Anexo N° 28.3 Imagen representativa del manómetro incorporado a la celda de carga.





ANEXO NO. 30.

IMAGEN REPRESENTATIVA DE UN CABEZAL DE  
DESTENSADO.

---

