

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



**CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN  
ANCLADOS EN ZONAS URBANAS**

**INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**CÉSAR JAVIER KASUGA KOMIYA**

**Lima- Perú**

**2013**

## **ÍNDICE**

RESUMEN.....	4
LISTA DE FIGURAS.....	5
INTRODUCCIÓN.....	9
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES .....	12
1.1. Introducción .....	12
1.2. Descripción de los sistemas de estabilización de taludes.....	12
1.3. Limitaciones de los sistemas de estabilización en zonas urbanas.....	15
1.4. Sistemas de calzaduras para excavaciones en zonas urbanas.....	16
1.5. Planteamiento del problema de los sistemas convencionales. ....	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Anclajes Postensados .....	19
2.1.1. Definición .....	19
2.1.2. Componentes del anclaje.....	20
2.1.3. Inyección.....	23
2.2. Tipo de anclajes.....	26
2.2.1. Por el sistema de inyección.....	26
2.2.2. Por su durabilidad .....	29
2.3. Tensado del anclaje .....	31
2.4. Utilización de los anclajes .....	31
2.4.1. Para estabilización de suelos en taludes y pendientes.....	32
2.4.2. Para contrarrestar la fuerza ascendente de subpresión del agua.....	32
2.4.3. Para contrarrestar la fuerza de volteo. ....	33
2.4.4. Para estabilización de taludes mediante muros de contención.....	33
2.5. Normas de referencia.....	38

---

CAPÍTULO III: PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	39
3.1. Requerimiento de información.....	39
3.1.1. Para el diseño de muros anclados: .....	39
3.1.2. Para la planificación de obra .....	45
CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS .....	53
4.1. Equipos de perforación .....	54
4.1.1. Descripción .....	54
4.1.2. Especificaciones técnicas de los equipos de perforación .....	57
4.2. Compresores .....	59
4.3. Inyectoras .....	60
4.4. Barras de perforación.....	61
4.5. Tubería de revestimiento.....	63
4.6. Martillo de fondo.....	64
4.7. Puntas de perforación .....	66
4.7.1. Tipos de puntas de perforación .....	68
4.8. Equipo de tensado .....	72
4.8.1. El gato hidráulico.....	72
4.8.2. Bomba hidráulica .....	73
4.8.3. Sillas de tensado.....	73
4.8.4. Reloj comparador.....	73
4.9. Personal de trabajo.....	74
4.9.1. Supervisor de perforación .....	74
4.9.2. Operador del equipo perforador .....	75
4.9.3. Ayudantes.....	77
4.9.4. Operador de la inyectora.....	77
CAPÍTULO V: SECUENCIA CONSTRUCTIVA DEL MURO ANCLADO .....	79

5.1.	Secuencia del proceso constructivo del muro anclado .....	81
5.2.	Excavación del terreno .....	84
5.3.	Secuencia constructiva del anclaje.....	91
5.3.1.	Perforación.....	91
5.3.2.	Habilitación de los cables tensores. ....	95
5.3.3.	Inyección.....	96
5.4.	Ejecución del muro de contención.....	100
5.5.	Tensado y destensado del anclaje. ....	106
5.6.	Tarrajeo del muro.....	109
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		110
6.1.	CONCLUSIONES .....	110
6.2.	RECOMENDACIONES .....	112
BIBLIOGRAFÍA.....		114
ANEXOS.....		115



## **RESUMEN**

El presente Informe de Competencia Profesional, tiene como finalidad describir la secuencia constructiva relacionada con los trabajos de ejecución de muros anclados en ámbitos urbanos, siempre y cuando las condiciones del suelo lo permitan, como es el caso de una gran parte de la ciudad de Lima, en donde las características del suelo gravoso permiten realizar el perfilado del suelo para la construcción del muro de contención y no hay presencia de napa freática que interfiera con las excavaciones.

En el presente informe se desarrollan los procesos involucrados en cada etapa, se describen los equipos, herramientas de perforación y personal necesarios para ejecutar dicha labor, así mismo se determinan los rendimientos esperados en condiciones normales y finalmente se señalan las consideraciones necesarias para elaborar una buena programación de obra de los procesos desarrollados.

El presente trabajo se enfocará básicamente en los componentes no convencionales dentro del proceso de ejecución del muro anclado, tales como los anclajes o tensores, el sistema muro-anclaje, la maquinaria y el personal especializado, los sistemas y herramientas de perforación, los procedimientos de perforación, la preparación e inyección del anclaje, los rendimientos de estos equipos y el desarrollo de la ejecución del muro anclado. Se entiende que los procesos de excavación y ejecución del muro de contención, son componentes convencionales dentro del sistema de muro anclado, por tal motivo solo se les identificarán convenientemente. No obstante, se debe indicar que estos componentes forman una parte importante dentro de la programación en la ejecución del sistema de muro anclado.

La literatura respecto al tema es muy escasa en el medio local, es por ello que el presente informe se sustenta en la normativa internacional, como lo son las normas alemanas DIN y el Euro Código EN, así como manuales y literatura disponibles en otros países y en la experiencia del autor.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Muros de contención rígidos.....	13
Figura 2 - Muros de contención flexibles.....	13
Figura 3 - Muros de suelo reforzado.....	14
Figura 4 - Muros anclados .....	15
Figura 5 - Estructuras enterradas.....	15
Figura 6 - Vista de la ciudad de Lima.....	16
Figura 7 - Ejemplo de detalle de calzaduras .....	17
Figura 8 - Ejemplo de plano de calzaduras .....	18
Figura 9 - Ejemplo de plano de calzaduras .....	18
Figura 10 - Esquema del Anclaje.....	19
Figura 11 - Esquema de un anclaje permanente.....	21
Figura 12 - Detalle del Torón de acero y presentación en rollos .....	22
Figura 13 - Detalle del Torón de acero y presentación en rollos .....	22
Figura 14 - Separadores de torones .....	23
Figura 15 - Tipos de inyecciones .....	24
Figura 16 - Esquema de inyección por gravedad .....	27
Figura 17 - Esquema de inyección por presión .....	28
Figura 18 - Esquema de una inyección múltiple.....	29
Figura 19 - Capuchón de protección para anclajes permanentes.....	30
Figura 20 - Capuchón de protección para anclajes permanentes.....	31
Figura 21 - Estabilización de taludes en laderas .....	32
Figura 22 - Estabilización para la subpresión de estructuras enterradas.....	32
Figura 23 - Estabilización para la subpresión de presas .....	33
Figura 24 - Estabilización de fuerzas de volteo .....	33
Figura 25 - Anclajes empleados sobre estructuras metálicas.....	34
Figura 26 - Secuencia de ejecución de los muros pantalla .....	35
Figura 27 - Grúa Liebherr-855. ....	35
Figura 28 - Muro anclado.....	36
Figura 29 - Pilotes Anclados para excavaciones en edificaciones, Chile.....	37
Figura 30 - Pilotes Anclados para excavaciones en edificaciones, Chile.....	38
Figura 31 - Esquema de información necesaria para el diseño.....	40
Figura 32 - Planos de ubicación y planta de sótanos- Arquitectura .....	40
Figura 33 - Planos de cimentación y elevaciones de muro de contención.....	42
Figura 34 - Planos de interferencia de estructuras vecinas .....	43

Figura 35 - Diseño de muro anclado en espacios muy reducidos .....	44
Figura 36 - Movimiento de la rampa de acceso.....	45
Figura 37 - Esquema de información necesaria para la planificación .....	45
Figura 38 - Plano de anclajes .....	47
Figura 39 - Apuntalamiento de encofrado de madera .....	49
Figura 40 - Apuntalamiento de encofrado metálico .....	49
Figura 41 - Apuntalamiento de encofrado modular .....	50
Figura 42 - Tubería de impulsión de concreto adosado al muro.....	51
Figura 43 - Anclajes empleados sobre concreto armado .....	53
Figura 44 - Perforadora hidráulica Marca Mustang, modelo CB65 .....	56
Figura 45 - Perforadora hidráulica Marca Comacchio modelo MC800 .....	57
Figura 46 b - Especificaciones técnicas perforadora ATLAS COPCO .....	58
Figura 47 b - Especificaciones técnicas perforadora Comacchio .....	59
Figura 48 - Compresor de aire, Marca Sullair .....	60
Figura 49 - Esquema de una Central de Inyección general.....	61
Figura 50 - Inyectora Atlas Copco – Unigrout, .....	61
Figura 51 - Inyectora Sondeq SM 500H .....	61
Figura 52 - Barras de perforación roscadas .....	62
Figura 53 - Rosca macho y hembra de barras .....	62
Figura 54 - Especificaciones técnicas de las barras .....	63
Figura 55 - Rosca macho y hembra en tuberías de revestimiento.....	63
Figura 56 - Punta de ataque del sistema de perforación .....	64
Figura 57 - Esquema interior del Martillo de fondo, Puma 3.1 .....	64
Figura 58 - Esquema de pérdida de energía por disipación .....	65
Figura 59 - Datos técnicos de los martillos de fondo .....	65
Figura 60 - Punta de perforación Odex 90 Marca Atlas Copco .....	66
Figura 61 - Punta de perforación con botones, Marca Maxdrill .....	67
Figura 62 - Punta de perforación con botones, Marca Atlas Copco.....	67
Figura 63 - Punta de perforación tricono .....	69
Figura 64 - Punta de perforación sistema convencional.....	70
Figura 65 - Punta de perforación sistema de escareador excéntrico.....	71
Figura 66 - Punta de perforación sistema Simetrix, Marca Atlas Copco.....	72
Figura 67 - Equipo de tensado.....	73
Figura 68 - Supervisor de campo .....	75
Figura 69 - Operador del equipo perforador.....	76

Figura 70 - Ayudantes de perforación .....	77
Figura 71 - Operador de la inyectora .....	78
Figura 72 - Plano en planta de distribución de anclajes .....	80
Figura 73 - Plano en elevación de distribución de anclajes .....	80
Figura 74 - Secuencia de excavación y ejecución del anclaje .....	83
Figura 75 - Secuencia de construcción del muro y tensado del anclaje .....	83
Figura 76 - Secuencia de excavación y ejecución del anclaje del segundo nivel .....	83
Figura 77 - Secuencia de construcción del muro y tensado del anclaje .....	83
Figura 78 - Banquetas para soporte de muro anclado .....	84
Figura 79 - Excavación del segundo nivel mediante excavadora de orugas .....	85
Figura 80 - Empleo de 2 excavadoras, sistema escalonado .....	85
Figura 81 - Extracción del material mediante faja transportadora .....	87
Figura 82 - Batea de recolección de inicio de faja .....	87
Figura 83 - Foto de un proyecto con 15m de ancho .....	87
Figura 84 - Izaje de la bandeja de eliminación .....	88
Figura 85 - Eliminación de material utilizando una retroexcavadora .....	89
Figura 86 - Apertura de la bandeja en el interior de la tolva del volquete .....	89
Figura 87 - Replanteo de la posición del anclaje sobre la banquetta .....	92
Figura 88 - Ángulo en elevación del anclaje sobre la banquetta .....	92
Figura 89 - Replanteo en planta de la posición del anclaje sobre la banquetta .....	92
Figura 90 - Replanteo de punto de perforación sobre las banquetas .....	93
Figura 91 - Perforación sobre pase en muro armado .....	94
Figura 92 - Colocación de tuberías de perforación .....	95
Figura 93 - Inserción del tensor o anclaje .....	96
Figura 94 - Proceso de inyección del anclaje .....	97
Figura 95 - Perfilado manual del terreno y excavación de zanja .....	100
Figura 96 - Protección del acero con polietileno .....	101
Figura 97 - Habilitación de acero de refuerzo .....	101
Figura 98 - Tubo de PVC 4" para pase sobre muro de concreto armado .....	102
Figura 99 - Tecnoport para cajuelas en muro .....	102
Figura 100 - Apuntalamiento contra terreno del encofrado .....	103
Figura 101 - Encofrado y apuntalamiento de muro alternado .....	103
Figura 102 - Vaciado del muro .....	104
Figura 103 - Desencofrado del muro .....	104
Figura 104 - Apuntalamiento del muro .....	105

Figura 105 - Instalación de la placa y silla de apoyo para el tensado .....	106
Figura 106 - Tensado del anclaje.....	107
Figura 107 - Nivel de cimentación del proyecto.....	107
Figura 108 - Construcción de las losas de los sótanos del proyecto. ....	108
Figura 109 - Destensado del anclaje.....	108

## **INTRODUCCIÓN**

En el Perú, el sistema de muros de contención anclados está comenzando a utilizarse con más frecuencia en la construcción de edificios debido al aumento de la profundidad de los sótanos, como consecuencia de la necesidad de obtener mayores espacios útiles para estacionamientos vehiculares, especialmente cuando se tiene la presencia de construcciones vecinas y entornos complejos.

Los muros anclados se han impuesto en los distintos sectores de la ingeniería. Mientras que en un principio se empleaban exclusivamente para la construcción de cortinas impermeables en el terreno y para la estabilización de roca en excavación de túneles, actualmente se emplean en gran número de elementos (muros de contención provisionales o definitivos, etc.) que aportan una solución a problemas que van desde la excavación de estructuras enterradas, tales como estacionamientos o sótanos, paredes laterales para pasos inferiores, hasta colectores, pozos, etc.

La tecnología del muro anclado se ha establecido en ciudades en expansión como una alternativa para realizar los trabajos de estabilización de excavaciones profundas en ámbitos urbanos. Esto se debe principalmente, a las características del suelo que presenta esta ciudad, por ejemplo en las zonas de mayor construcción en altura como Miraflores y San Isidro, donde el suelo presenta parámetros de resistencia muy altos y no existe presencia de nivel freático. Estas condiciones son ideales para la aplicación del muro anclado, ya que permite la excavación secuencial mediante el uso de paneles intercalados sin generar desmoronamientos del terreno.

Por lo general, cada uno de estos paneles es reforzado con un anclaje de alto tonelaje que proporciona la estabilidad necesaria tanto al elemento individual, como a todo el sistema en su conjunto, dando así un alto grado de seguridad durante los trabajos de excavación, incluso durante algún evento sísmico.

Finalmente, el muro anclado ofrece una alternativa de estabilización mucho más rápida y segura, siendo un sistema con procesos más industrializados que el

sistema convencional de calzaduras, en donde además, se puede aplicar un mejor control de calidad, optimizar los recursos y mejorar los rendimientos.

El presente trabajo de tesis, considera 6 capítulos que a continuación se describen brevemente.

En el primer capítulo se presentan los sistemas de estabilización de taludes convencionales, ya sea por medio de conformación de taludes, estabilización mediante muros de contención rígidos o flexibles, y calzaduras. Así mismo se describe el procedimiento general y la secuencia constructiva de los sistemas mencionados anteriormente.

En el segundo capítulo se trata los elementos utilizados para la ejecución de muros anclados, como lo es principalmente el anclaje o tensor, se define los tipos de anclajes y su empleo, los elementos que lo componen, materiales empleados para su construcción, el sistema de estabilización de taludes mediante anclajes, así como la normativa aplicable existente.

En el tercer capítulo se describe la información necesaria para dar inicio con el planeamiento de los trabajos de ejecución de muro anclado, así como las consideraciones necesarias para el estudio previo del proyecto. Se señalan los lineamientos a seguir para el diseño y programación de obra, tales como cantidad de equipos necesarios y su relación con los espacios disponibles, secuencia constructiva, incluso antes del diseño de los anclajes y dimensiones de los paneles del sistema de muros anclados.

En el cuarto capítulo se describen los equipos y personal necesario para la ejecución de anclajes dentro de las etapas de la construcción del muro anclado, así mismo se detallan los sistemas de perforación, tipos de herramientas y equipos necesarios.

En el quinto capítulo se expone sobre el proceso de ejecución de muro anclado, desarrollando todas las actividades involucradas, que van desde la perforación de los anclajes hasta el destensado de los mismos.

Finalmente, en el sexto capítulo se ilustra las consideraciones necesarias para la elaboración de una programación de obra de los procesos desarrollados

Las conclusiones y recomendaciones, estarán enfocadas en resaltar la importancia de conocer los procedimientos constructivos del sistema de muro anclado para una correcta programación de obra.



## CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

### 1.1. Introducción

Para realizar una excavación profunda en ámbitos urbanos es necesario emplear un sistema de contención de taludes, de tal forma de garantizar la estabilidad del talud y de la integridad de las estructuras adyacentes si las hubiera.

Los sistemas de estabilización de taludes responden a las necesidades de cada proyecto, por lo cual su empleo dependerá de la finalidad de la excavación, los requerimientos del proyecto (sistema temporal o permanente, tiempos de ejecución, si el sistema admite deformaciones, etc.) y condiciones particulares del proyecto (espacios disponibles, dificultad de los procesos constructivos, cercanía de otras estructuras, disponibilidad de equipos y/o materiales, etc.).

El sistema convencional de estabilización que se usa ante la presencia de estructuras adyacentes, como lo es el caso de las calzaduras, es un sistema que se incrementa en costo y en tiempo de ejecución, a medida que se va incrementando la profundidad de excavación, generando mayores costos para el proyecto.

### 1.2. Descripción de los sistemas de estabilización de taludes

Para realizar una excavación en suelo y/o roca, en donde no sea posible generar un corte con un ángulo tal que permita su estabilidad, se deberá contar con uno o varios elementos externos que sean capaces de soportar los empujes. Las presiones que desarrollan los suelos detrás de un talud pueden absorberse interponiendo estructuras de retención o contención.

El propósito de una estructura de contención es el resistir las fuerzas ejercidas por el suelo contenido, y transmitir esas fuerzas en forma segura a la fundación o a un sitio por fuera del mismo sistema de contención. En el caso de un deslizamiento de suelo o roca el muro ejerce una fuerza para contener la masa inestable y transmite esa fuerza hacia una cimentación o zona de anclaje por fuera de la masa susceptible de moverse. Las deformaciones excesivas o movimientos de la estructura de contención o del suelo a su alrededor deben evitarse para garantizar su estabilidad.

Estos sistemas de estabilización se pueden agrupar en varios grupos, dependiendo del tipo de elemento externo que lo conforme, y que van asociados de acuerdo a las necesidades o finalidad de la estabilización, y a los costos que implican cada sistema.

a) Muros de contención rígidos

Son elementos rígidos los cuales no permiten deformaciones en el suelo, se diseñan para soportar las fuerzas generadas por el empuje del suelo. Se apoyan sobre suelo competente y emplean el peso del suelo contenido para soportar los empujes. Estos elementos pueden ser construidos de concreto armado o concreto simple o ciclópeo como se muestra en la Figura N° 1

b) Muros de contención flexibles

Son elementos flexibles, los cuales son construidos de tal forma que permiten una deformación controlada del suelo. Están diseñadas de tal forma que pueden deformarse sin llegar a la rotura de su estructura. Normalmente se construyen en bloques o conjunto de bolonería angulosa o no angulosa de gran tamaño envuelta en una malla hexagonal de doble torsión, como se muestra en la Figura N° 2

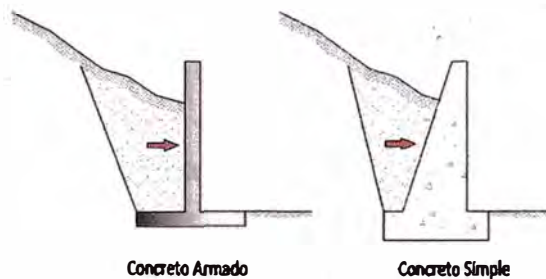


Figura 1 - Muros de contención rígidos

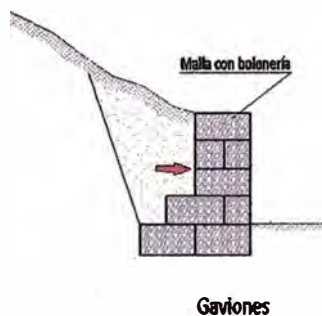


Figura 2 - Muros de contención flexibles

### c) Muros de suelo reforzado

Son elementos conformados por suelo compactado, y entre cada capa de compactación, se instalan elementos que mejoran la resistencia a la tensión y al esfuerzo cortante del sistema. Adicionalmente es necesario contener el suelo mediante muros de concreto armado prefabricados, los cuales van unidos a las fajas metálicas o geo textiles. En la siguiente figura se puede apreciar los elementos que componen este sistema de estabilización.

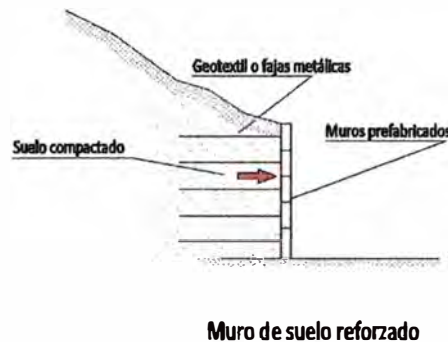


Figura 3 - Muros de suelo reforzado

### d) Estructuras Ancladas

Son estructuras que cuentan con un elemento externo al sistema, el cual soporta los empujes generados por el terreno. Estos elementos externos son generalmente varillas de acero o cables, las cuales son instaladas mediante sistemas de perforación neumática o hidráulica y trabajan con la interacción de un material cementante que cumple la función de transmitir las cargas de empuje al anclaje. Los ancles pueden ser tensados, para conformar un sistema de anclajes activos o en su defecto no se le aplica carga alguna, para conformar un sistema de anclajes pasivos. En la Figura N°4 se muestra ambos sistemas de estabilización, la figura de la izquierda se refiere a un esquema de estabilización mediante anclajes activos y la figura de la derecha un esquema de estabilización mediante anclajes pasivos.

### e) Estructuras enterradas

Son elementos de concreto armado los cuales se instalan desde la superficie mediante equipos especiales de perforación. Este sistema puede estar compuesto por pilotes excavados o muros pantalla.

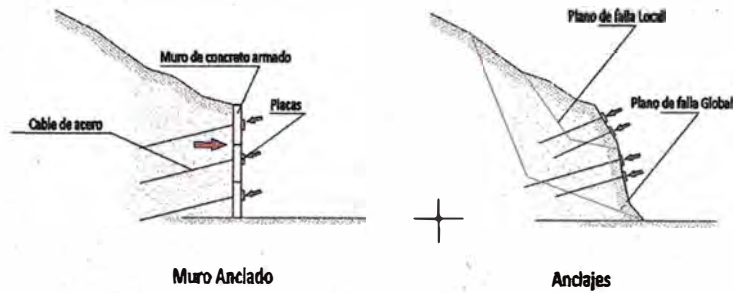


Figura 4 - Muros anclados

Estos elementos rígidos son construidos de tal forma que interrumpen el plano de falla del talud, generando una resistencia al corte.

Los elementos rígidos pueden ser construidos de forma continua o de forma intercalada. En la siguiente figura se puede apreciar las fuerzas sobre el elemento externo rígido.

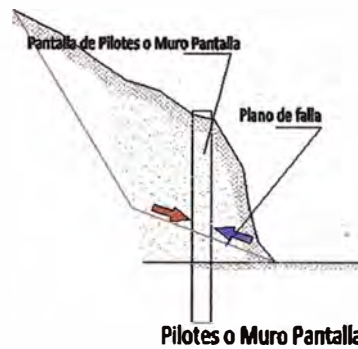


Figura 5 - Estructuras enterradas

### 1.3. Limitaciones de los sistemas de estabilización en zonas urbanas

En zonas urbanas, la densidad de las construcciones urbanas, y su cercanía entre ellas añade un factor a considerar en el momento de seleccionar un sistema de estabilización de taludes. No solo se debe considerar la profundidad de excavación y el empuje generado por el suelo, sino también la carga adicional que pueda generar la estructura vecina, los espacios disponibles para ingresar equipos y maquinarias, la cercanía de las estructuras colindantes ya sean superficiales o enterradas, los accesos, etc. En la siguiente figura se puede

apreciar un avista de la ciudad de Lima, donde la densidad de edificios para vivienda, comercio y oficinas viene en aumento.

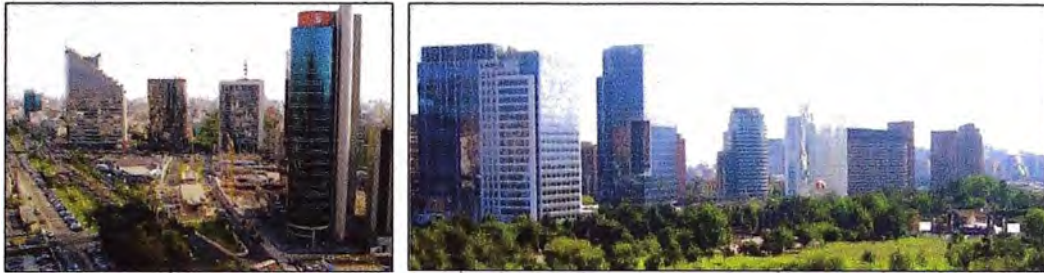


Figura 6 - Vista de la ciudad de Lima

Ante esta necesidad, es necesario contar con sistemas de contención de taludes diseñados de tal forma que no afecten la integridad de las estructuras vecinas, factibles en tiempo y costo, y en donde el proceso de construcción garantice seguridad de los trabajadores en todo el proceso constructivo.

#### 1.4. Sistemas de calzaduras para excavaciones en zonas urbanas

Las calzaduras son un sistema que permite realizar excavaciones, sin la necesidad de generar un talud estable, en zonas colindantes a estructuras ya existentes. La finalidad de la calzadura es transmitir la carga la sobrecarga generada por una estructura adyacente al nivel de fundación de la excavación, y soportar además el empuje del suelo, de forma que no se altere la integridad del terreno colindante y de las obras existentes en él.

Las calzaduras son un sistema temporal el cual dejará de cumplir su función en el momento que entren en funcionamiento las estructuras de sostenimiento definitivas.

Es un sistema que contempla su realización por medio de batches<sup>1</sup>, en donde se tendrán que realizar excavaciones por debajo de las estructuras vecinas en forma de nichos y de forma secuencial (por cada 3 nichos se excavará 1) y realizar consecutivamente los contiguos una vez que se hayan realizado los predecesores. De acuerdo con la Figura N°7 en donde se puede apreciar la numeración consecutiva se deberá realizar primero los nichos con numeración 1, 4, 7, 10, y así sucesivamente. Para una segunda etapa se deberán realizar los

<sup>1</sup> Término que se emplea en la excavación alternada y relleno por un material competente para estabilizar taludes y/o estructuras vecinas.



nichos con numeración 2, 5, 7, 11, etc. y finalmente la numeración faltante 3, 6, 9, 12, y así consecutivamente. Para un mayor detalle se adjunta el plano como Anexo N° 1.

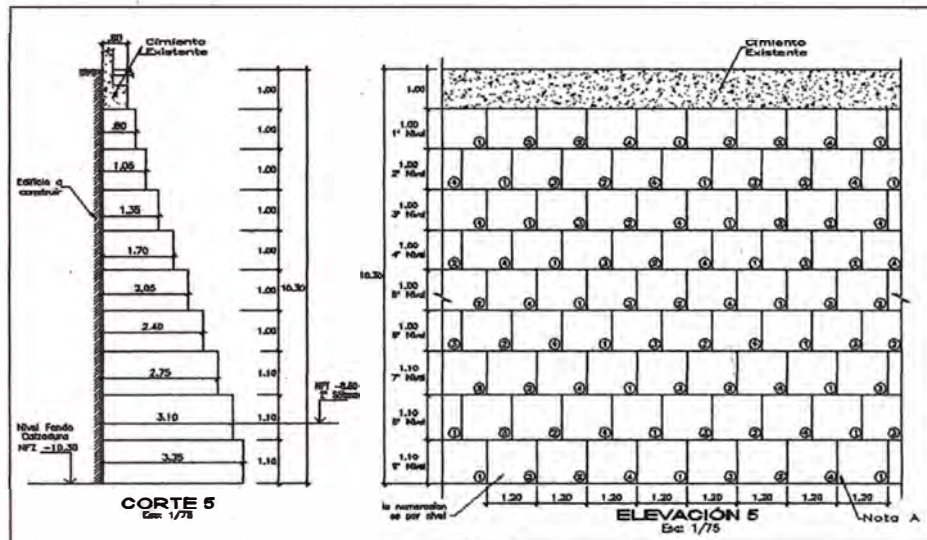


Figura 7 - Ejemplo de detalle de calzaduras

La profundidad que deberán tener los elementos de la calzadura estará en relación directa con la profundidad de la misma.

En la Figura N°8 se puede apreciar que a mayor profundidad de excavación las dimensiones de la excavación por debajo de la cimentación vecina se van incrementando.

### 1.5. Planteamiento del problema de los sistemas convencionales.

El incremento de la profundidad de excavación por debajo de la cimentación vecina, genera un incremento en la dificultad de la ejecución de la calzadura, e incrementa el riesgo asociado a dichos trabajos.

En la Figura N° 9 podemos apreciar un plano de calzaduras de un proyecto de edificación, en donde el proyectista ha determinado que para realizar 8.58m de profundidad de excavación, será necesario profundizar las calzaduras en el último nivel hasta 4.4m. Para un mayor detalle se adjunta la Figuras N° 9 como Anexo N° 2.

Otro factor importante a considerar es que cada día se requiere que los plazos de ejecución de obra disminuyan para generar un mayor retomo de la inversión en un menor plazo.

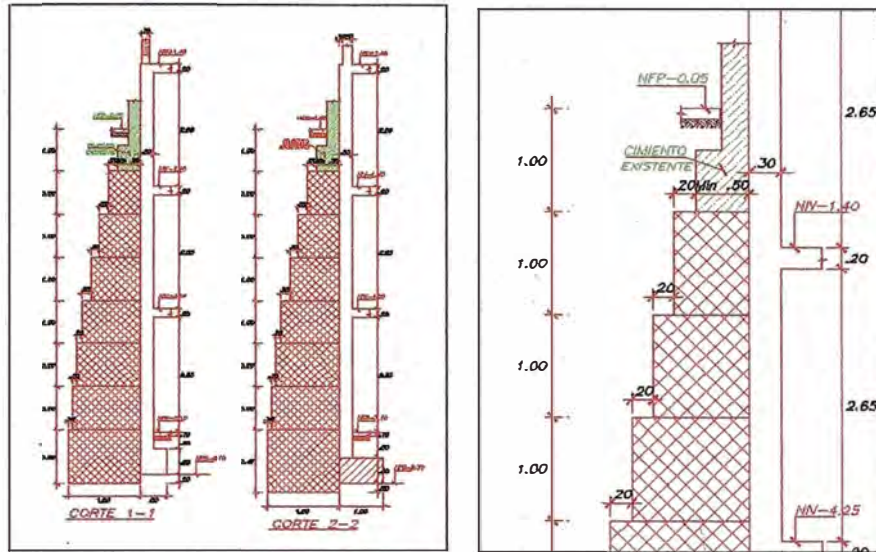


Figura 8 - Ejemplo de plano de calzaduras

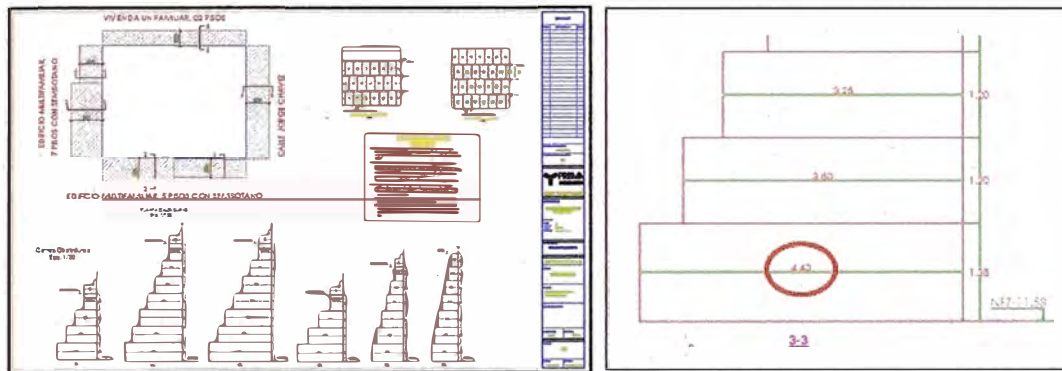


Figura 9 - Ejemplo de plano de calzaduras

Es por ello que se tiene la necesidad de contar con nuevos sistemas de contención para excavaciones en zonas urbanas, y de esta manera se reduzca los tiempos en obra y los riesgos de seguridad asociados a las grandes profundidades de excavación.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Anclajes Postensados

#### 2.1.1. Definición

Se denomina anclaje postensado e inyectado a un elemento estructural instalado en suelo o roca, capaz de transmitir una carga de tracción al terreno, compuesto fundamentalmente por cables o barras las cuales son introducidas a través del suelo o roca mediante una perforación de pequeño diámetro, normalmente menores a 30cm de diámetro, el cual es rellenado mediante lechada de cemento, mortero, o resinas especiales.

En la parte posterior del anclaje se instalará un sistema de soporte metálico que impida el retorno del anclaje posterior al ser tensionado contra un elemento rígido, el cual estará conformado por la placa de apoyo y las cuñas de anclajes.

En la Figura N° 10 se puede identificar las partes que conforman un anclaje, las cuales van desde la zona del bulbo o zona de adherencia del anclaje con el suelo, hasta la placa de apoyo en la zona de longitud libre del anclaje para el tensado.

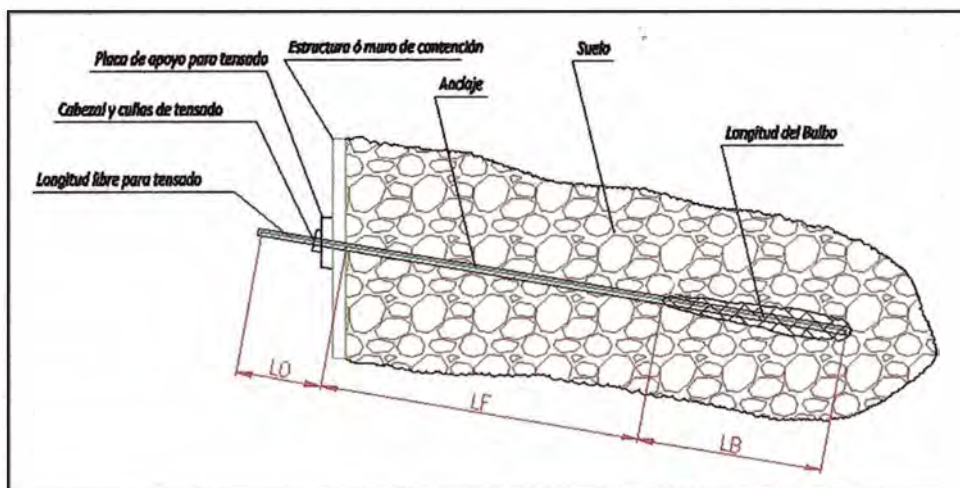


Figura 10 - Esquema del Anclaje

A continuación se detalla cada parte del anclaje:

a) Bulbo



Es la parte inicial del anclaje y que transmite las cargas aplicadas sobre el anclaje al suelo que lo rodea, gracias al material cementante que es inyectado a presión

b) Longitud libre del anclaje o  $L_f$

Es la parte del anclaje que estará cubierto por un protector o recubrimiento, que normalmente es de PVC<sup>2</sup> flexible o PEAD<sup>3</sup>. Este recubrimiento deberá asegurar que se cubra en toda la longitud de la zona libre del anclaje. En ambos extremos deberá estar sellado para garantizar que no ingrese el agua o ningún agente corrosivo. Además, para no generar fricción entre el torón y recubrimiento de PVC se colocará grasa u otro producto similar.

c) Longitud libre para el tensado o  $L_o$

Es la parte del anclaje que se deberá dejar expuesto al momento de insertar el anclaje dentro de la tubería de perforación. Ésta longitud deberá ser lo suficientemente larga para garantizar que el gato hidráulico disponible sea capaz de generar el tensado respectivo. La longitud libre para el tensado normalmente es de 1.0m de largo. Esta medida puede variar de acuerdo a la carrera<sup>4</sup> del gato hidráulico empleado.

d) Cabezal, cuñas y placa de apoyo para el tensado.

Para poder generar el tensado del anclaje en las cargas solicitadas, se deberá instalar la placa de apoyo, la cual distribuye la carga de forma homogénea sobre el muro de concreto. El cabezal y las cuñas de tensado, son los elementos metálicos que garantizan que el anclaje, luego de ser tensado, no regrese a su posición original.

### 2.1.2. Componentes del anclaje

El anclaje está conformado por varios elementos como son: el o los torones de acero, los separadores para la zona del bulbo, los centradores y el recubrimiento o protección del anclaje. Estos componentes se detallan en la Figura N°11.

a) Torones de acero

---

<sup>2</sup> Policloruro de vinilo

<sup>3</sup> Polietileno de alta densidad

<sup>4</sup> Se denomina carrera a la longitud de salida o longitud del pistón de empuje del gato hidráulico. Dependiendo del modelo y marca ésta medida es variable.

Los torones para los anclajes postensados son de alta resistencia y baja relajación, diseñados con una carga mínima de fluencia de 235 kN (ASTM A 416 Grado 270).

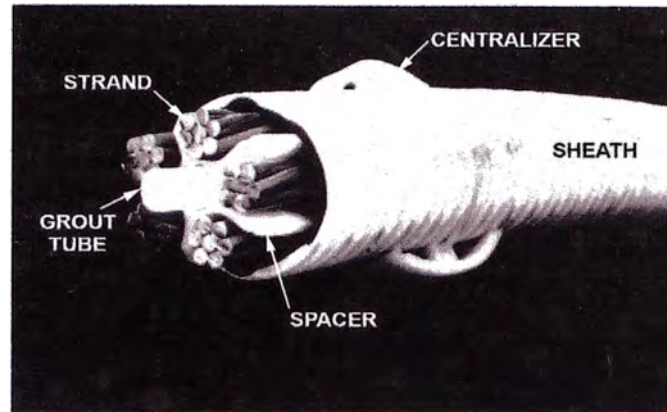


Figura 11 - Esquema de un anclaje permanente<sup>5</sup>

El diámetro del torón va a depender de los equipos de tensado que se tengan disponibles. En el mercado local, los diámetros más usados varían entre 0.4" y 0.7".

En la Figura N°12 se puede apreciar los torones de acero que se emplean para los anclajes postensados, los cuales son suministrados en forma de rollos.

Un anclaje puede estar conformado por uno o varios torones y la cantidad de cables que será necesario emplear dependerá de la carga de tensado aplicado a cada uno de ellos. Para realizar el diseño de anclajes postensados es importante considerar la capacidad de los equipos disponibles en el mercado. En el mercado local podemos encontrar equipos de tensado de capacidad de tensado simultáneo de 1 hasta 12 cables.

<sup>5</sup> Federal Highway Administration – Geotechnical Engineering Circular N°4 – FHWAIF-99-015

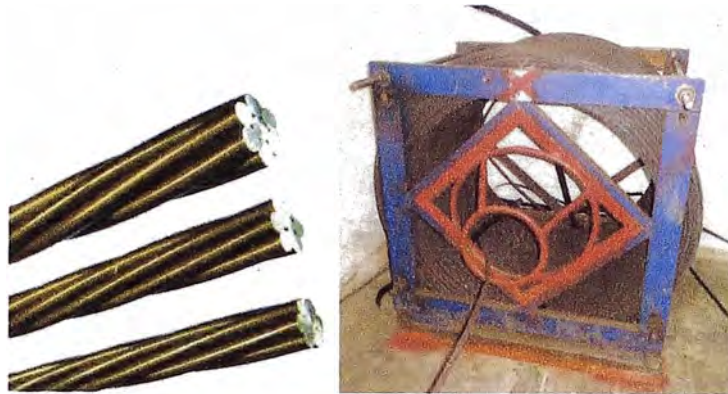


Figura 12 - Detalle del Torón de acero y presentación en rollos

b) Recubrimiento de la longitud libre, vainas

La longitud libre del anclaje es recubierta mediante el envainado de cada cable, que se muestra en la Figura N°12, con la finalidad que la carga de tensión aplicada no se transfiera a la zona libre del anclaje. Las vainas usadas en la longitud libre pueden ser de:

Tubos de PVC.

Tubos de polietileno o polietileno de alta o baja densidad.

En anclajes postensados temporales y permanentes es necesario rellenar con resina o grasa el espacio anular entre el cable y la vaina de recubrimiento. En la Figura N° 13 se muestra los tubos de polietileno, y la forma de colocar la vaina de recubrimiento sobre el torón de acero.

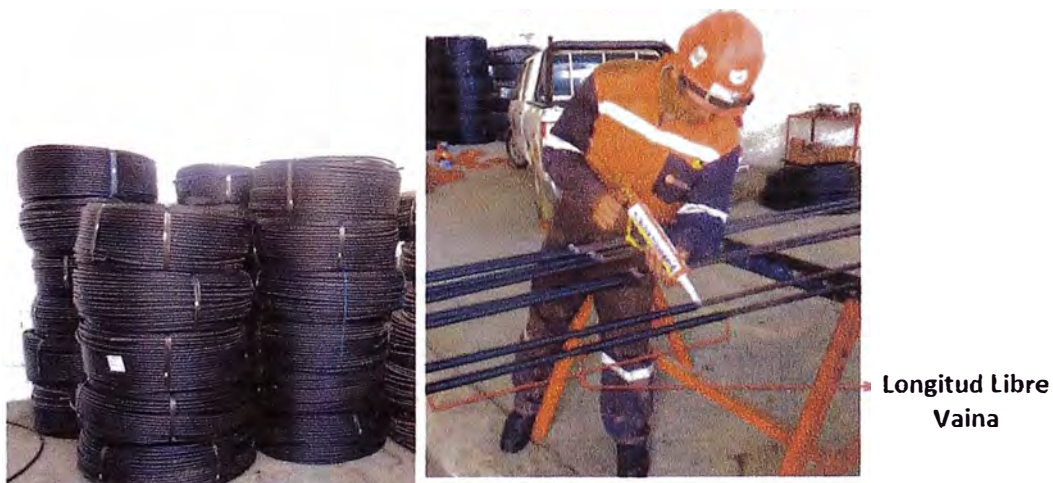


Figura 13 - Detalle del Torón de acero y presentación en rollos

c) Espaciadores

El espaciador es un elemento que normalmente es de PVC y es utilizado para separar en la zona del bulbo un torón del otro asegurando que cada uno sea adecuadamente cubierto con el material cementante (lechada). Los espaciadores deben ser fabricados con materiales que no dañen al torón. En la Figura N° 14 se aprecia diferentes tipos de separados para anclajes, desde 2 hasta 12 torones por anclaje. Como se puede apreciar en la figura, estos separadores cuentan con canales, los cuales alojan los torones separándolos unos de otros.

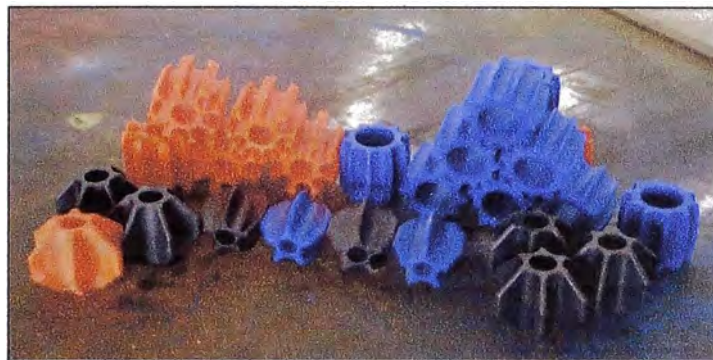


Figura 14 - Separadores de torones

d) Centradores

Los centradores o centralizadores son elementos de PVC utilizados para garantizar una cubierta de lechada mínima sobre el torón. La cubierta de lechada sobre el tendón es necesaria como medida de protección contra la corrosión y para el desarrollo de fricción entre el tendón y la lechada.

Los centralizadores deben ser fabricados con materiales que no dañen al tendón.

2.1.3. Inyección

La inyección es la etapa dentro del proceso de ejecución del anclaje en donde se inyecta una mezcla cementante para rellenar la zona del bulbo del anclaje y generar la transferencia de la carga tensora del anclaje al suelo.

La inyección cumple una o varias funciones entre las cuales se tienen:

Formar el bulbo inyectado, para que transmita las cargas.

- Proteger de la corrosión al anclaje.
- Dependiendo del tipo de inyección, reforzar el suelo adyacente a la longitud del bulbo o longitud fija del anclaje, con el fin de aumentar o mejorar la capacidad del suelo.
- Sellar, en caso de suelos con fisuras o cavidades, la zona del bulbo y prevenir pérdidas de la mezcla cementante.

En este marco, el fluido inyectado puede ser:

- Mezcla de agua cemento, con o sin aditivos
- Mortero de cemento
- Resinas – Geles – Soluciones

En la Figura N° 15, se esquematiza la clasificación de las inyecciones de acuerdo al objetivo de la inyección.

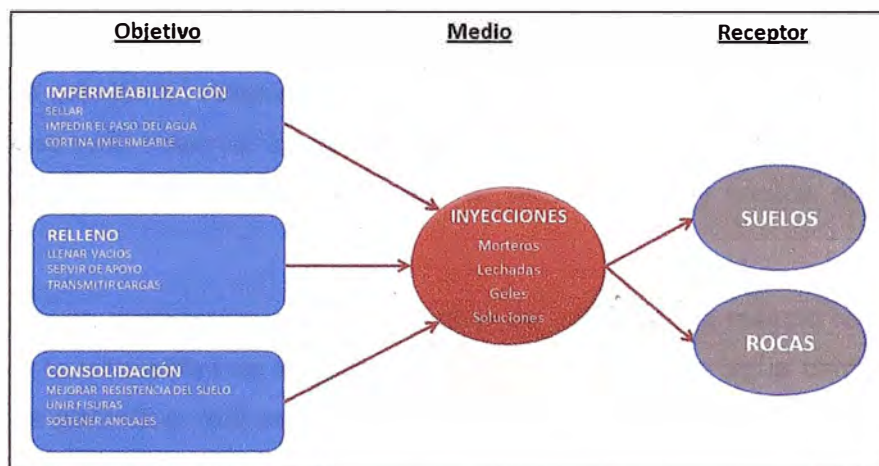


Figura 15 - Tipos de inyecciones

La inyección deberá garantizar el recubrimiento total de la zona del bulbo. Para ello se pueden realizar controles antes y en el proceso de inyección del anclaje.

En caso se determine según exploraciones y en base al estudio de mecánica de suelos, que el suelo presenta fisuras, cavidades, o existe filtración en el terreno, se deberán realizar pruebas de inyección de agua en roca o suelos<sup>6</sup>, antes de la ejecución del anclajes, o prueba de inyecciones múltiples, durante el proceso de inyección, en suelos.

<sup>6</sup> Ensayos de permeabilidad del suelo o roca, pudiendo ser los denominados ensayos Lugeon o Lefranc



Las pruebas de inyección de agua se emplean para relacionar y determinar la probabilidad de pérdida en el uso de mezcla cementante. Para ello se realiza una prueba de descenso del nivel de agua en la perforación o en la longitud fija mediante un obturador, y se aplica una presión constante durante un periodo determinado; en caso de profundidades mayores se emplea un elemento gaseoso (por ejemplo el nitrógeno). Si se obtiene como resultados una pérdida menor en la longitud fija de 5 litros/min a una presión de 0.1 MPa durante un periodo de 10min no será necesario realizar una inyección previa para sellar las fisuras y reducir la filtración de la roca o suelo. En caso los resultados sean mayores se deberán realizar inyecciones previas, se deberá inyectar con una mezcla cementante, esperar el fraguado, re perforar el pozo<sup>7</sup> y volver a realizar la prueba de inyección de agua hasta cumplir con los parámetros mencionados anteriormente.

Las pruebas de inyecciones múltiples, se realizan en el momento de la inyección a presión de un anclaje dentro de su longitud fija o bulbo. Para ello, antes de inyectar a presión se rellena la tubería de perforación con la mezcla cementante y se espera para observar su descenso. En caso el descenso no esté controlado, se deberá esperar el fraguado y re perforar, de tal forma de realizar nuevamente la prueba.

Es posible, en caso no se establezca el nivel de relleno de la mezcla cementante, aumentar la viscosidad de la mezcla reduciendo la relación agua cemento, pero se deberá garantizar que sea lo suficientemente fluido para evitar obstrucciones en los equipos y tubería conductora para la inyección.

En caso de inyecciones con presencia de agua en el pozo de perforación ya sea por presencia de napa freática o infiltraciones del terreno, es necesario inyectar la lechada de cemento mediante el empleo de un tubo de PVC flexible, para lo cual se insertará una tubería de un diámetro el cual sea factible su inserción hasta el fondo de la perforación. La inyección se realizará desde el fondo hacia la boca de entrada de tal forma de desplazar toda el agua presente hacia la boca de entrada y reemplazarla con lechada de cemento.

---

<sup>7</sup> Terminología usada en relación al orificio que se genera en el suelo o roca, por acción de las brocas de perforación.

## 2.2. Tipo de anclajes

Los anclajes se definirán de acuerdo a la cantidad de torones que lo compongan, al espesor de los cables empleados, longitud del bulbo y la longitud de la zona libre. Cada proyectista, estructural o proveedor de ingeniería de sistemas de sostenimiento de taludes mediante anclajes diseñará de acuerdo a las normas que el proyecto lo exija. Estos parámetros estarán de acuerdo a los materiales y equipos disponibles en el mercado o de acuerdo a la experiencia en diseño de estos elementos. Los parámetros mencionados anteriormente no son un punto de comparación para definir el tipo de anclaje, ya que éstas dependerán únicamente del diseño, el tipo y características del suelo o las cargas que se deseen soportar.

Los tipos de anclajes se pueden definir por su sistema de inyección o por su durabilidad, como a continuación se muestra:

### 2.2.1. Por el sistema de inyección

Existen varios sistemas de inyección, muchos de ellos patentes de empresas de fundaciones especiales los cuales han podido desarrollar nuevos sistemas y lograr mejores parámetros de resistencia o capacidad de resistir cargas, y además facilitar el proceso constructivo.

A continuación se describen los tipos de inyecciones en anclajes:

#### a) Inyectados por gravedad

La inyección de la lechada de cemento se introduce solo por gravedad desde la boca de perforación. Normalmente se emplea este tipo de inyecciones en perforaciones en roca o suelos cohesivos y muy compactos, debido a que no es necesario un sistema de revestimiento para estabilizar las paredes de perforación. Para el cálculo o diseño se considera que el bulbo generado mantiene la forma cilíndrica producto de la perforación sobre el terreno. En la Figura N° 16 se muestra la configuración de un anclaje inyectado por gravedad.

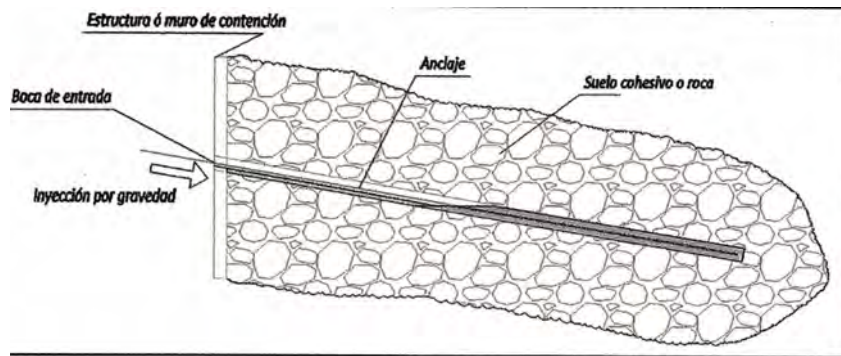


Figura 16 - Esquema de inyección por gravedad

#### b) Inyectados por presión

Este tipo de inyección se realiza normalmente en terrenos granulares y suelos no cohesivos. Debido a la poca estabilidad de las paredes de la perforación en estos tipos de suelos, es necesario revestir las paredes de la perforación mediante una tubería, la cual se va insertando conforme se va avanzando con la perforación. Esta tubería se inserta por tramos que varían entre 2m y 3m de longitud, los cuales cuentan con rosca hembra-macho en ambos extremos para facilitar la unión entre ellos.

El proceso comienza con la inyección por gravedad hasta rellenar completamente todos los tramos de tuberías, luego se procede a retirar una por una, y si es necesario, rellenando nuevamente con lechada cada vez que el nivel de la lechada desciende. Con este procedimiento se garantiza en todo momento las paredes de la perforación estarán protegidas contra el desmoronamiento, ya sea por la protección de la tubería de revestimiento o por la lechada. El proceso se realiza hasta que los tramos de tuberías sean retiradas por encima de la zona del bulbo. En este momento, se realiza la inyección a presión colocando un acople mecánico en la boca de entrada de la tubería de revestimiento y se conecta mediante mangueras de inyección a los equipos inyectoros. De esta forma se garantiza que en la zona de bulbo la lechada logre ensanchar el diámetro de perforación generando un mayor diámetro y mayor área de contacto anclaje suelo.

En la Figura N° 17 se puede apreciar que la inyección por presión ensancha la zona del bulbo, incrementando el diámetro inicial de la perforación.



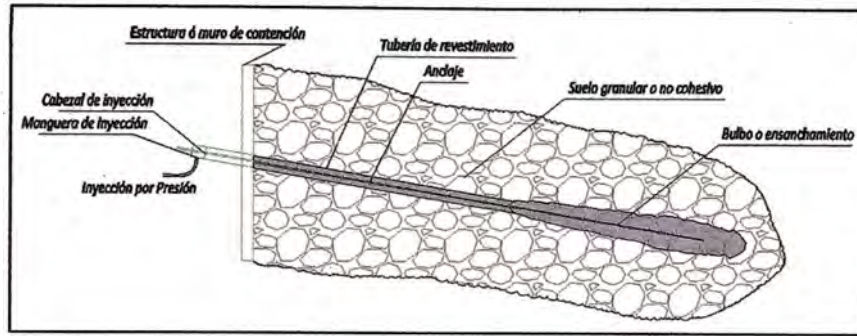


Figura 17 - Esquema de inyección por presión

En casos en que no se emplee tuberías recuperables para realizar una extracción controlada de la misma e inyectar a presión solo la longitud del bulbo, se puede emplear obturadores o tubos de manguitos.

c) Inyectados por inyecciones múltiples

La inyección se realiza por etapas, primero se realiza la perforación hasta la longitud deseada empleando para ello una tubería de revestimiento, para luego colocar el anclaje el cual deberá contar con un sistema para inyecciones múltiples. Este sistema consiste en adosar a los torones del anclaje una tubería PEAD<sup>8</sup>, con orificios de salidas selladas, los que permiten inyectar a través cuando se alcance una presión establecida.

El sistema está preparado de tal forma que primero los obturadores más profundos tienen menor resistencia de salida, permitiendo que en un inicio se inyecten a través de ellos. Una vez que éstos se obstruyan la inyección se realizará por los subsiguientes orificios de salida. Finalmente, cuando se concluya la primera etapa de la inyección y posterior a la espera del fraguado se vuelve a reinyectar para lograr una segunda apertura de los obturadores (considerando que se reinyectan a mayor presión que la primera vez).

Este sistema de inyección logra aumentar el área de contacto del anclaje con el suelo en la zona del bulbo, en relación al área de contacto generado solo por la perforación y/o la inyección por presión. Además mejora las características del suelo que interactúa con el anclaje. En la Figura N° 18 se puede apreciar la infiltración de la lechada generada por una segunda reinyección.

<sup>8</sup> Polietileno de alta densidad

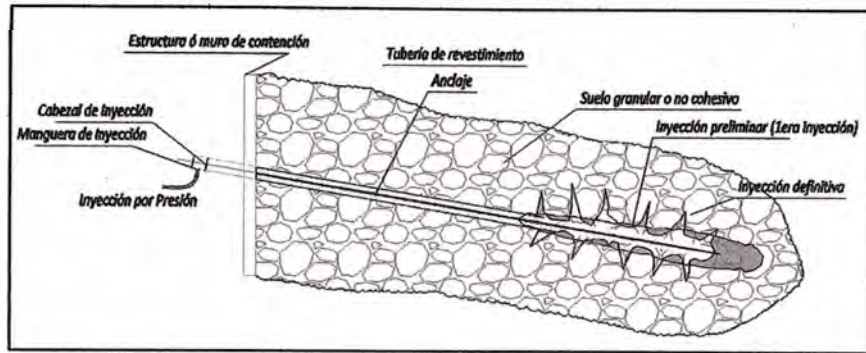


Figura 18 - Esquema de una inyección múltiple

### 2.2.2. Por su durabilidad

Los anclajes pueden ser clasificados por el grado de protección que cuentan para resistir los efectos de la corrosión sobre los torones de acero. El tiempo de vida del anclaje dependerá del tipo de estructura que se encuentre estabilizando.

Básicamente existen dos tipos de anclajes, los temporales y los permanentes.

#### a) Anclajes temporales

Se define que los componentes de acero de un anclaje temporal deben contar con una protección que inhiba o prevenga la corrosión durante una vida útil mínima de 2 años. Como su mismo nombre lo indica es un anclaje que tiene un fin provisorio el cual posteriormente será reemplazado por una estructura definitiva, como lo son las losas en el caso de sótanos para edificaciones.

Un anclaje temporal no tendrá un recubrimiento especial salvo para garantizar su durabilidad por un periodo de 2 años. Salvo indicación contraria en el diseño, donde se podrá alargar la capacidad de resistencia del anclaje mediante recubrimientos adicionales.

#### b) Anclajes permanentes

En caso de anclajes permanentes se deberá asegurar que el anclaje cuente con un recubrimiento que garantice la duración prevista del anclaje para un proyecto determinado. El anclaje deberá contar con elementos adicionales a lo largo de toda su longitud que inhiba o impida el efecto corrosivo del suelo u otro elemento presente.

El recubrimiento podrá estar compuesto por:

En la zona bulbo por uno o dos capas de recubrimiento de PVC flexible y corrugado, para facilitar la instalación y ser capaz de resistir las cargas aplicadas. El tubo o los tubos de protección deberán ser concéntricos con o sin relleno interno de lechada o resinas, antes o después de la instalación del anclaje dentro del pozo perforado. También podrá estar cubierto de una tubería metálica, pero en este caso se deberá garantizar el relleno interior de la tubería por lechada de cemento o resinas.

En la zona libre, el recubrimiento de los cables deberá ser individual y relleno de un producto que inhiba o impida el ataque de agentes externos sobre el cable de acero. También se podrá eventualmente emplear tuberías plásticas o metálicas para recubrir la zona libre del anclaje, pero ello dificulta la instalación del anclaje en el pozo perforado.

En la zona de la cabeza del anclaje se deberá garantizar que entre la zona de empalme del cabezal y la zona libre del anclaje deberá estar cubierta de lechada de cemento o resina. Para ello se pueden emplear placas de apoyo con un tubo metálico concéntricos con el orificio de la placa para el pase del mismo, el cual se inserta sobre el pase generado sobre el muro de concreto y se rellena con lechada o resina. Finalmente la placa de apoyo, la longitud libre para tensado, el cabezal y las cuñas deberán ser cubiertas con lechada de cemento, pudiendo emplear elementos como capuchones<sup>9</sup> tal como se muestra en la Figuras N° 19 y 20 siguientes.



Figura 19 - Capuchón de protección para anclajes permanentes

<sup>9</sup> Cobertor metálico que cubre la cabeza del anclaje, empernado sobre la placa del anclaje o directamente al muro de concreto.



Figura 20 - Capuchón de protección para anclajes permanentes

### 2.3. Tensado del anclaje

El tensado de los anclajes es realizado posteriormente a la etapa de la ejecución de anclajes, donde se procede a traccionar el anclaje y anclarlo o tensarlo a su respectiva carga de bloqueo.

El proceso de tensado deberá de garantizar la tracción simultánea de los cables que componen el anclaje o tendón, de tal forma de aplicar la carga como si fuera un elemento único. Es por ello que se necesitan equipos especializados para sistemas de postensado de cables.

Para realizar el tensado o bloqueo de los cables del anclaje será necesario contar con cuñas y un cabezal de tensado. Estos elementos se describen con mayor detalle en el capítulo 4 del presente documento.

Para realizar el tensado del anclaje se deberán seguir las recomendaciones de la Norma del Post Tensioning Institute, el cual menciona una resistencia mínima a la compresión de la lechada de 21MPa al momento del tensado.

### 2.4. Utilización de los anclajes

La aplicación de los anclajes es muy variada, debido a que se aprovecha la capacidad de resistir la tensión para complementar estructuras y/o elementos que necesiten de un elemento externo.

Dentro de las aplicaciones más comunes tenemos:



#### 2.4.1. Para estabilización de suelos en taludes y pendientes

Los anclajes se emplean para aportar una fuerza contraria al movimiento de la masa deslizante. La longitud del bulbo del anclaje deberá sobrepasar la línea de falla del talud, como se muestra en la Figura N° 21.

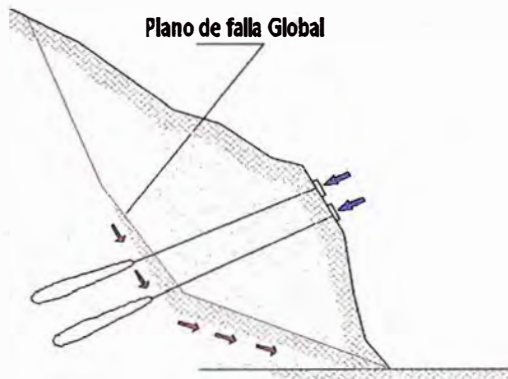


Figura 21 - Estabilización de taludes en laderas

#### 2.4.2. Para contrarrestar la fuerza ascendente de subpresión del agua.

Los anclajes se emplean para aportar una fuerza contraria a la fuerza de subpresión producto del agua, en elementos que están embebidos por debajo del nivel de la napa freática. A continuación en la Figura N° 22 y 23 se muestra dos ejemplos de aplicaciones de anclajes por subpresión hidrostática.

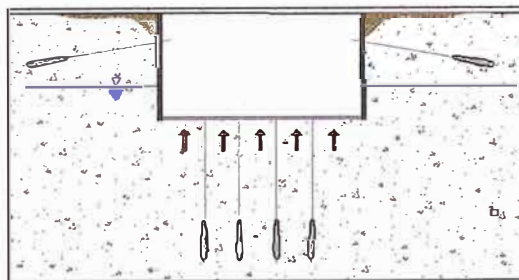
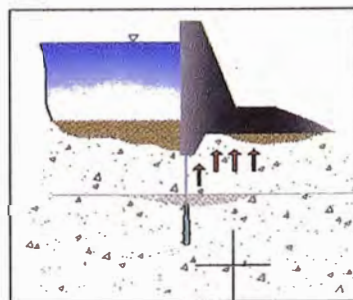


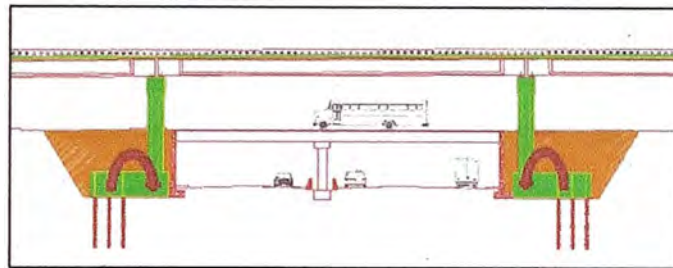
Figura 22 - Estabilización para la subpresión de estructuras enterradas



**Figura 23 - Estabilización para la subpresión de presas**

2.4.3. Para contrarrestar la fuerza de volteo.

Los anclajes se pueden emplear para resistir los momentos producidos por fuerzas de volteo. En la Figura N° 24 se muestra un ejemplo de su uso para contrarrestar los momentos producidos en la cimentación de un viaducto elevado para una línea férrea.



**Figura 24 - Estabilización de fuerzas de volteo**

2.4.4. Para estabilización de taludes mediante muros de contención.

El anclaje se emplea para soportar las tensiones de empuje generados por un suelo u agente externo al sistema sobre una estructura. Esta estructura puede ser un elemento metálico o concreto armado, en sistemas continuos o discontinuos.

a) **Sistemas de contención continuos**

Son elementos de contención contruidos de forma continua en todo el perímetro o largo de la excavación, sin separación de sus elementos. Entre estos sistemas se puede mencionar el muro Berlínés, muro pantalla y los muros Anclados.

- **Muro Berlínés o Pantalla de tablestacas**

Las pantallas de tablestacas son un sistema de contención anclado, el cual consiste en hincar perfiles metálicos en el suelo a lo largo del perímetro de excavación y/o longitud de la obra, antes de iniciar con la excavación del suelo. Estos perfiles tendrán una sección H, la cual permite instalar posteriormente a través de ella tablonés de madera que servirán como elemento de contención. Las vigas metálicas estarán ancladas al suelo mediante vigas de amarre debidamente ancladas.

Los tablonos de madera y los anclajes se irán instalando mientras se va descendiendo con el nivel de excavación.

Este sistema de contención anclado, es muy ventajoso en suelos blandos y no cohesivos, debido a la rapidez de hincado de las vigas, y al ahorro económico que representa al no necesitar un muro de contención armado.

Una limitante de este sistema es que en caso se desee emplear para excavaciones mayores de 10m a 15m, será necesario utilizar perfiles metálicos de mayores dimensiones para resistir el empuje del suelo, lo que dificultará el hincado de los perfiles en el suelo, elevando los costos y disminuyendo la velocidad de su ejecución, siendo ambas principales ventajas del este sistema.

En el caso exista la presencia de napa freática por encima del nivel máximo de excavación será necesario emplear adicionalmente un sistema de depresión de la napa mediante bombeo.

En la Figura N° 25, se muestra una obra con estabilización de taludes mediante tablestacas



Figura 25 - Anclajes empleados sobre estructuras metálicas

- **Muro pantalla o pared moldeada**

El muro pantalla es un sistema de contención que consiste en realizar alternadamente muros de sección rectangular mediante la excavación con herramientas especiales como lo son las cucharas bivalva e hidrofresas, sostenidas con grúas especiales como se muestra en la Figura N° 26 y 27. Para



la estabilización de las paredes de perforación se emplean lodos tixotrópicos y se realiza el vaciado mediante la técnica de vaciado con tubería "TREMIE".

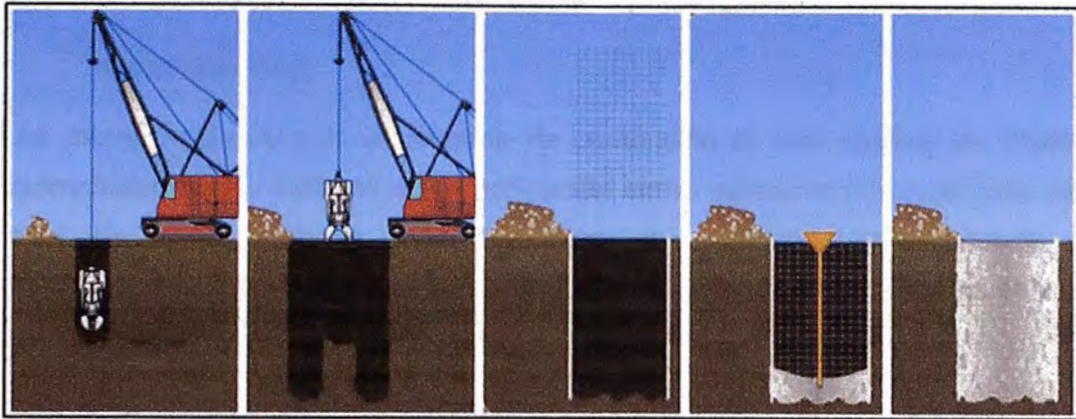


Figura 26 - Secuencia de ejecución de los muros pantalla<sup>10</sup>



Figura 27 - Grúa Liebherr-855.

La ventaja de este sistema es que está conformado por pantallas verticales impermeables que cuentan con elementos complementarios para impedir la filtración del agua a través de las juntas producto de la construcción alternada. Se puede emplear para formar pantallas impermeables y para excavaciones como contención del suelo en excavaciones para pases a desnivel en viaductos.

<sup>10</sup> Fuente: Pilotes Terratest Perú Sac.



## b) Sistemas de contención discontinuos

Son elementos de contención que están distanciados uno del otro a lo largo de la excavación, aprovechando el efecto arco del suelo, de tal forma de reducir tiempos de ejecución y costo de construcción.

- Pilotes anclados

Los pilotes anclados son un sistema de estabilización el cual emplea pilotes circulares anclados como elementos de contención del suelo. Los pilotes son excavados y vaciados "in situ", antes del proceso de excavación del suelo, y se van anclando al suelo a medida que los niveles de excavación van descendiendo, así como se muestra en la Figura N° 29.

Finalmente se da inicio a la construcción de la cimentación de la edificación de forma convencional, tal como se muestra en la Figura N° 30.

La ventaja de este sistema es la rapidez de ejecución de los pilotes, así como la ausencia de elementos adicionales de contención, generando una secuencia de trabajo más ordenada y secuencial.



Figura 29 - Pilotes Anclados para excavaciones en edificaciones, Chile



Figura 30 - Pilotes Anclados para excavaciones en edificaciones, Chile

## 2.5. Normas de referencia

Debido a la falta de una normativa peruana en cuanto a las aplicaciones de los anclajes en sistemas anclados, se hará mención a la normativa internacional disponible.

DIN 4125 - Deutsches Institut für Normung Anclajes, año 1990-11

EN 1537 - Norma Europea Anclajes, año 2001

FHWA - Ground anchors and anchored systems (Federal Highway Administration), año 1999-015

PTI - Recommendations for prestressed Rock and Soil Anchors, año 2005

TA95 - Tirants Dáncrage, año 1995

BS-8081 - Code of practice for Ground anchorages – British Standards, año 1989

## CAPÍTULO III: PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

### 3.1. Requerimiento de información.

Para cumplir con los alcances establecidos del proyecto, es necesario partir de una buena planificación preliminar y una buena ingeniería, los cuales se basarán en torno a toda la información disponible.

El desarrollo de la ingeniería deberá considerar aspectos de constructabilidad<sup>11</sup>, la cual brindará las consideraciones constructivas que el proyectista deberá tener en cuenta para el diseño de muros anclados. De esta manera se logra dar un valor agregado al diseño propuesto, de tal forma que brinda mayor rapidez y fluidez a los procesos constructivos, reduciendo los costos del proyecto. Los factores que más influyen dentro del proceso de diseño son: la disponibilidad de equipos, selección del sistema constructivo, disponibilidad de materiales, espacios disponibles para la construcción, tamaño de plataformas de trabajo.

Es necesario un plan maestro, o una planificación preliminar el que sea desarrollada conjuntamente con el diseño de los muros anclados. Esta planificación preliminar deberá cubrir a grandes rasgos las secuencias constructivas considerando varios factores como son: las características del proyecto (ubicación, dimensiones, profundidad, condiciones y área del terreno), longitudes de los frentes, características de los equipos para la ejecución de anclajes y los sistemas constructivos disponibles.

La información que será necesaria para desarrollar el diseño, considerando aspectos constructivos y el planeamiento preliminar se detallará a continuación:

#### 3.1.1. Para el diseño de muros anclados:

A continuación en la Figura N° 31 se muestra un esquema con la información necesaria para elaborar un diseño de muros anclados, estos temas abarcan desde información del tipo de suelo y estructuras aledañas, hasta descripción de los equipos que serán usados en el proceso de ejecución.

---

<sup>11</sup> Constructabilidad, del inglés *constructability* o *buildability*, es una técnica de gerencia de proyectos la cual desarrolla los procesos constructivos durante la etapa de pre-construcción

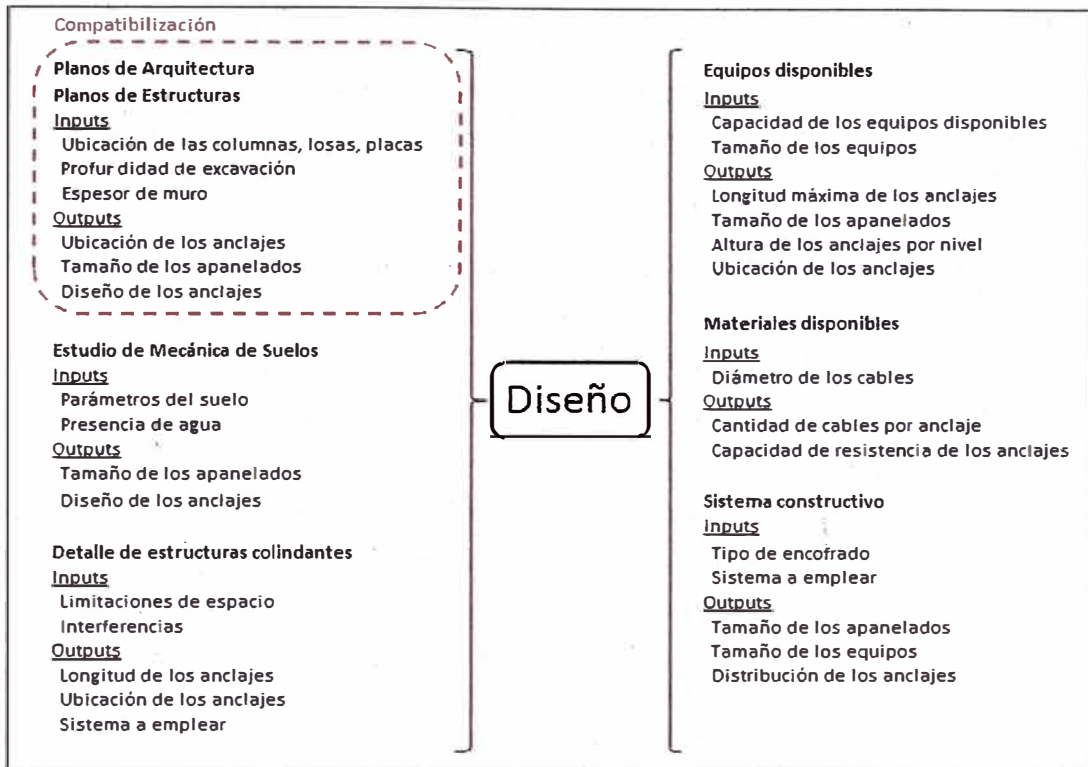


Figura 31 - Esquema de información necesaria para el diseño

a) Planos de Arquitectura

Brindaran las dimensiones del terreno y la ubicación del mismo. También brindaran información sobre las alturas de losas o niveles de pisos, además de la ubicación del proyecto e indicaran las estructuras vecinas que pueden afectar al diseño y planeamiento. A continuación en la Figura N° 32 se muestran ejemplos de un plano de ubicación de la obra y un plano en planta de arquitectura.

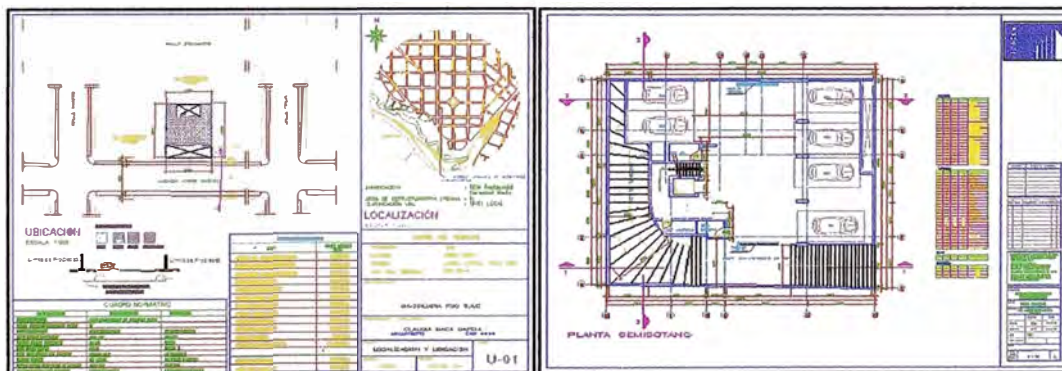


Figura 32 - Planos de ubicación y planta de sótanos- Arquitectura



## b) Planos de Estructuras

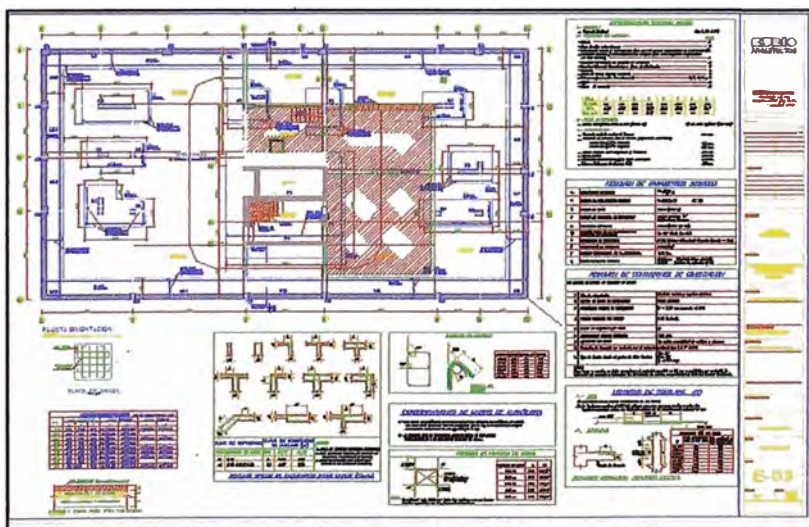
Brindaran la profundidad máxima de excavación, así como las cotas de cimentación de la estructura, información indispensable para el modelamiento de la estabilización de taludes.

Brindaran información complementaria sobre los espesores del muro perimetral de contención, el cual deberá ser verificado y comprobar la resistencia del punzonamiento debido a la carga de tensión del anclaje. En caso que esto ocurra se podrá resolver de dos formas, la primera distribuyendo la fuerza de tensión de un anclajes en varios o re-diseñando y reforzando el muro de contención, en algunos casos podrá ser posible un ensanchamiento del muro en la zona de influencia del anclaje. Se deberá evaluar el incremento del costo final del proyecto ante estas alternativas para seleccionar la más conveniente.

Brindaran información sobre las columnas y placas embebidas dentro del muro de contención y proyecciones de vigas y losas dentro del muro de contención. Esta información es fundamental para evitar las interferencias con los anclajes en las zonas indicadas anteriormente.

En la Figura N° 33 se muestra planos de cimentación y elevación de los muros, esta información es indispensable para los diseños de muros anclados.

Es fundamental la compatibilización de los planos de arquitectura y estructuras, con la finalidad de evitar problemas en la etapa de construcción.



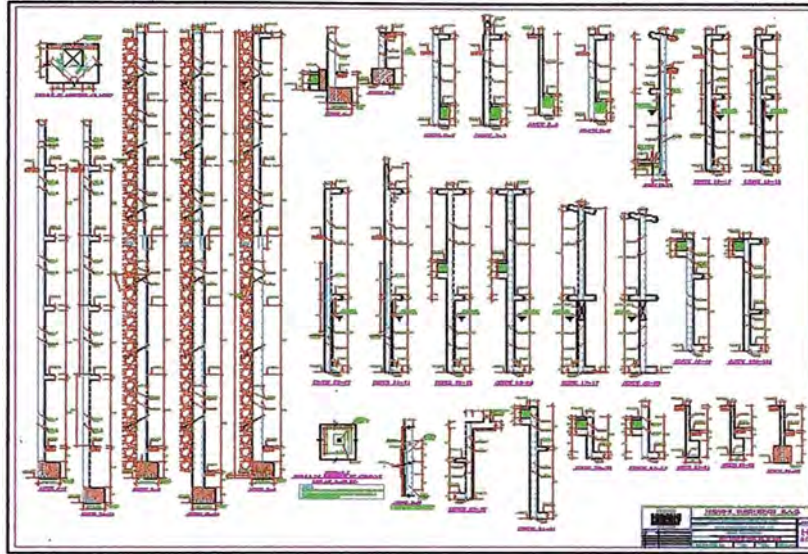


Figura 33 - Planos de cimentación y elevaciones de muro de contención

c) Planos de estructuras colindantes

Debido a que el sistema de muro anclado contempla la perforación e instalación de anclajes a través del suelo colindante al proyecto, es necesario identificar las estructuras y elementos que sean una posible interferencia para la ubicación de los anclajes. Será necesario contar con la ubicación en planta, distancias al perímetro del proyecto y profundidades de los mismos.

Una vez que se cuente con dicha información se podrá rediseñar los anclajes reubicándolos en zonas donde no afecten las estructuras colindantes, para ello se podrá cambiar los ángulos de inclinación y ubicación en la elevación del muro.

En la Figura N° 34 a se muestra un plano en elevación donde se identifica la cimentación vecina y se muestra la reubicación de los anclajes para evitar las zonas de interferencias, que en este caso es una cisterna.





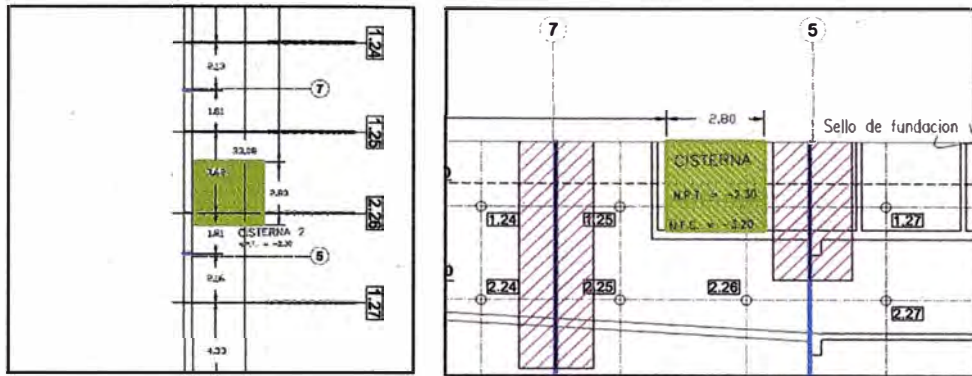


Figura 34 - Planos de interferencia de estructuras vecinas

d) Estudios de suelos

Información fundamental para el diseño de los muros anclados, brindándonos información sobre las características del suelo y sus parámetros de resistencia, determinando así la interacción del anclaje-suelo como elemento individual y sistema global de sostenimiento del talud.

Las características del suelo brindarán además las dimensiones necesarias del apanelado de los muros anclados, de acuerdo a su capacidad de cohesión y la factibilidad de realizar el perfilado del terreno en forma vertical y construir el muro de contención.

e) Maquinaria y materiales disponibles en el mercado

Es importante identificar los equipos disponibles para la ejecución de anclajes, y conocer las características técnicas de los mismos, longitudes máximas de perforación, dimensiones de los equipos, etc. Esta información brindará al proyectista la información sobre los espacios mínimos necesarios en obra para la construcción de los anclajes, en la Figura N° 35 podemos apreciar el plano en planta de un sector (delimitado en color rojo) en donde es necesario realizar excavaciones profundas, pero por los pocos espacios disponibles no es posible realizarlo con equipos convencionales de anclajes, para este caso en particular se tendrá que usar equipos de perforación portátiles.

Además, con esta información será posible determinar la profundidad máxima de los anclajes. Es importante mencionar que ante situaciones donde sea necesario importar equipos del extranjero, se deberá considerar los tiempos y costos

asociados a la importación, y que finalmente, dependerá de las necesidades del proyecto.

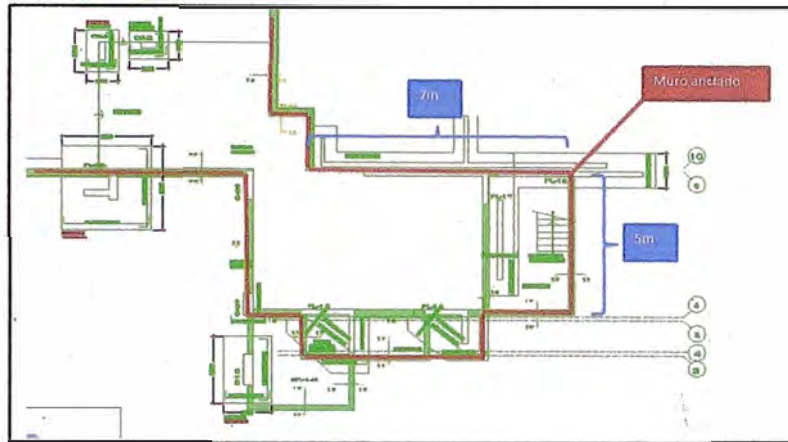


Figura 35 - Diseño de muro anclado en espacios muy reducidos

f) Sistema constructivo y plazo de obra

Es necesario que el proyectista cuente con la información sobre los sistemas constructivos disponibles, de tal forma de ser considerados al momento de realizar los diseños.

Un ejemplo claro es el de los encofrados; conociéndose el tipo de encofrado a emplear se podría optimizar los tamaños de los apanelados de tal forma de reducir costos en acondicionamiento de los paneles metálicos o de madera, empleándose los tamaños estándares que se pueden encontrar en el mercado.

Otro ejemplo claro es las rampas de acceso para excavación masiva mediante retroexcavadora. Este tema se detallará en el capítulo 5, donde se puede apreciar las dificultades de realizar el muro anclado en zonas comprometidas con las rampas de acceso o de eliminación de material. Si se considerara el sistema de excavación en el momento de realizar el diseño se podría reubicar los anclajes de tal forma de minimizar los efectos de movimiento de rampas, o en su defecto proponer un sistema mixto de estabilización de taludes.

En la Figura N° 36, podemos apreciar la foto de una obra donde el ancho de la misma es de 14 m, lo cual implica que será necesario mover la rampa de un lado al otro para realizar la construcción de los muros anclados en ambos ejes laterales. Este movimiento de rampa impactará en la programación de la obra,

considerando que imposibilitará que ningún equipo o maquinaria ingrese mientras dure el movimiento de la rampa de acceso.



Figura 36 - Movimiento de la rampa de acceso

### 3.1.2. Para la planificación de obra

A continuación en la Figura N° 37, se muestra un esquema con la información necesaria para la planificación de obra, estos temas abarcan desde la información del tipo de suelo, hasta la descripción de los equipos que serán usados en el proceso de ejecución.

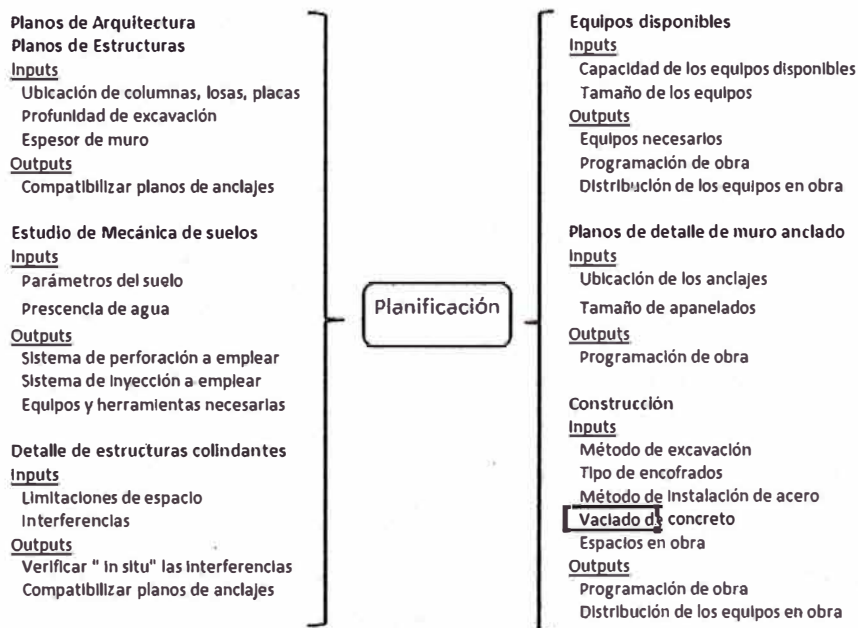


Figura 37 - Esquema de información necesaria para la planificación

a) Estudio de suelos

Las características del suelo serán la base para determinar el sistema de perforación a emplear. Existen diferentes tipos de herramientas de perforación, y su selección dependerá si se perfora sobre arena, arcilla, grava o una combinación de ellas. En el capítulo 4 se definirán los tipos de herramientas y sus características.

En suelos cohesivos y rocas se podrá utilizar herramientas de perforación sin necesidad de contar con tuberías de revestimiento, tales como sistemas de perforación convencionales.

En suelo granular, tales como arena y gravas arenosas, se deberá utilizar tuberías de revestimiento para garantizar la estabilidad de las paredes de perforación.

En caso de encontrar un terreno donde se deberá perforar distintos tipos de suelos, se podrá emplear una combinación de ellas. Si fuere el caso en que se debe perforar primero por un suelo granular y no cohesivo, se deberá emplear tuberías de revestimiento hasta llegar con la perforación hasta el estrato de suelo cohesivo o roca; luego a partir de ese momento se podrá perforar con sistemas convencionales si necesidad de seguir recubriendo la perforación con las tuberías mencionadas. En caso se presente primero el estrato cohesivo y luego el estrato no cohesivo, no hay otra forma más que entubar toda la perforación.

Los diámetros de perforación se seleccionarán de acuerdo al diámetro del anclaje a instalar dentro del pozo de perforación, de la disponibilidad de los equipos, y del tipo de suelo a perforar, esté último en casos de perforaciones a través de rocas.

b) Planos de detalle de muros anclados

Los planos de detalle de muros anclados brindarán información para definir la secuencia constructiva, ubicación de la rampa de acceso, y lugar de inicio de los trabajos de perforación de anclajes, incluyendo además aspectos como determinar la profundidad de las excavaciones en los distintos niveles, elegir el sistema para la eliminación del suelo más apropiado dependiendo del tamaño de la obra y de la ubicación de los frentes libres, ubicar adecuadamente las rampas de accesos y planificar los movimientos de la misma para generar las mínimas



interrupciones en la ejecución de los muros anclados, seleccionar los equipos óptimos para las excavaciones, determinar las alturas necesarias para la conformación de plataforma de trabajo para los equipos en cada nivel de anclaje y determinar la ubicación para el almacenamiento de materiales de construcción, distribución del área de trabajo, secuencia de perforación de anclajes en interacción con la construcción del muro de contención.

Los planos de detalle son el punto de partida para realizar una correcta secuencia de los trabajos de ejecución de muros anclados. En la Figura N° 38 se muestra un plano en planta de anclajes. Para un mayor detalle se adjunta el plano como Anexo N° 3. La información que contiene es la distribución en planta de los anclajes, cuadro resumen con las cantidades, tipos y longitudes de los anclajes por niveles y las especificaciones técnicas de los anclajes, así como la normativa empleada.

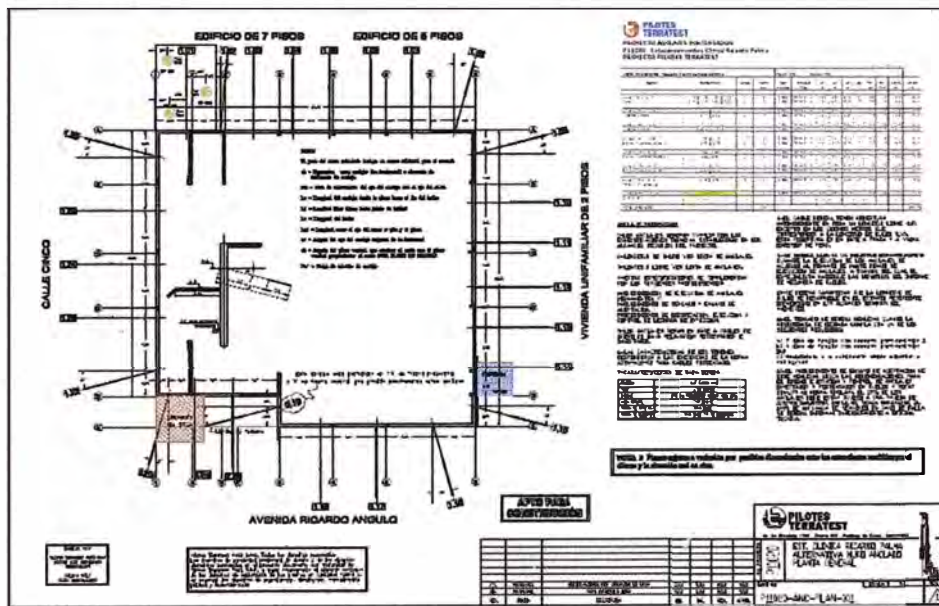


Figura 38 - Plano de anclajes<sup>12</sup>

c) Sistema de encofrado

Para una correcta planificación, será necesario definir el tipo de encofrado a emplear para la construcción de los muros anclados. Estos pueden ser de madera, metálico, o modular, e influenciará en la programación de los trabajos. Aspectos como rendimientos, espacios necesarios para su almacenamiento y

<sup>12</sup> Fuente: Pilotes Terratest Perú S.A.C.



transporte dentro de la obra, así como los accesorios y complementos necesarios, tales como sistemas de apuntalamiento, tipo de puntales y cantidad necesaria de los elementos de apuntalamiento, serán la base para seleccionar el mejor sistema.

Los encofrados con paneles y apuntalamiento de madera, pueden ser más económicos como material, además éste es más versátil ya que puede ser preparado o habilitado a distintos tamaños de apanelados de muro.

En contra parte, el rendimiento empleando este material puede ser menor que emplear encofrados metálicos y/o modulares, sin considerar que su almacenamiento puede generar dificultades por los grandes volúmenes que ocupa. En la Figura N° 39 se puede apreciar el encofrado de los muros mediante paneles de madera.

La otra alternativa es emplear encofrado metálico, los que normalmente son provistos en módulos de distintos tamaños, que pueden ser unidos con distintos accesorios. Finalmente, la unión de los módulos formarán el encofrado de un panel completo. La selección de los tamaños de módulos de encofrado dependerá de las dimensiones de cada apanelado del muro pantalla.

Si bien es cierto que este sistema puede ser menos versátil, ya que no es posible modificar los tamaños de los módulos, con una buena planificación se puede optimizar su selección para garantizar distintas combinaciones para formar los distintos tamaños de apanelado del muro anclado.

Este tipo de encofrado puede almacenarse o apilarse de una forma más ordenada que el encofrado de madera, ya que cuenta con formas más uniformes y regulares, sin considerar que algunos accesorios o complementos pueden ser retráctiles (como por ejemplo los puntales).

El mayor problema de este tipo de encofrado es el peso de los elementos, lo cual dificulta su acarreo a través de la obra.

En la Figura N° 36 se muestra un encofrado metálico de un muro anclado.

Finalmente, el encofrado modular es un tipo de encofrado monolítico que se construye de la misma dimensión que el apanelado del muro anclado. Este tipo de encofrado se prepara con escuadras del tamaño de la altura del apanelado

del muro anclado, de tal forma que se instala y se moviliza de forma completa sin desarmarse; para tal fin, es necesario contar con un equipo auxiliar, como lo es una grúa pluma, una grúa móvil, una excavadora o un telehandler<sup>13</sup>.

En la Figura N° 40 y 41 se puede apreciar un encofrado modular.

Debido a su configuración monolítica, es necesario contar con grandes áreas para ser almacenado. Normalmente se emplea en obra de grandes dimensiones donde es posible contar con espacio suficiente para el tránsito de un equipo auxiliar para su movilización y proporcionar facilidad de movimiento para su instalación.



Figura 39 - Apuntalamiento de encofrado de madera



Figura 40 - Apuntalamiento de encofrado metálico

<sup>13</sup> Vehículo provisto de un brazo telescópico que permite levantar cargas a distintas alturas y en distintos radios. A diferencia de la grúa telescópica, este no cuenta con cables de izaje.



**Figura 41 - Apuntalamiento de encofrado modular**

d) **Habilitación de acero**

Para la planificación de obra es necesario definir si se empelará acero de refuerzo dimensionado o se habilitará en obra por varillas, ya que esta decisión influenciará en los espacios que se requiere para su almacenamiento, habilitación y transporte, así como la cantidad de personal necesario en obra.

Es importante verificar que los accesos e ingresos sean lo suficientemente amplios para que la descarga del acero y además su acarreo hacia los puntos de almacenamiento y habilitación, sea lo más fluido posible.

e) **Vaciado del concreto**

El sistema de vaciado de concreto influenciará en los espacios disponibles para poder movilizar los equipos de perforación de anclajes y eliminación de material.

Un ejemplo claro para reducir los espacios y realizar los vaciados de tal forma que los equipos puedan transitar libremente, es adosando las tuberías de impulsión de concreto premezclado a los muros, tal como se muestra en la Figura N° 42.

Se podrá considerar 2 o más montantes de tuberías de impulsión de concreto para evitar interrupciones en la programación de vaciado, en caso se estén ejecutando los muros en el mismo eje de la montante.



**Figura 42 - Tubería de impulsión de concreto adosado al muro**

**f) Maquinaria y materiales disponibles en el mercado**

Se deberá tener en cuenta los equipos y materiales disponibles en el mercado para la construcción de los tensores, ya que se pueden obtener respuestas más rápidas de los proveedores locales; así se evitan gastos de flete e importación de equipos y materiales del exterior y se reduce el riesgo de retrasos en la programación de obra por demoras de transporte y desaduanaje. En caso sea necesario contar con proveedores externos por la complejidad del proyecto es necesario prever con anticipación la provisión de los equipos y materiales necesarios.

Otro factor importante es conocer las dimensiones de los equipos y los radios de acción de los mismos, ya que se deberá planificar los trabajos de tal forma que no afecte otras actividades de la obra. En terrenos muy reducidos, es muy probable que se tenga que dar prioridad a una actividad y esperar que ésta sea culminada para poder empezar la siguiente. Los trenes de trabajo en este tipo de obras son más difíciles de planificar.

Es importante considerar los tiempos de movilización interna de los equipos dentro de la obra en la programación de los trabajos, que se generan por los movimientos de rampa de acceso o liberación de espacios.

Los rendimientos de obra también estarán asociados a las capacidades de los equipos, especialmente en los equipos de perforación de anclajes. Es muy

importante conocer los equipos que se emplearán en la obra para determinar los rendimientos potenciales de los mismos, y no tomar libremente como base los rendimientos obtenidos en otras obras similares.



## CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

En la ejecución de los trabajos de perforación de anclajes para muros de contención anclados, será necesario contar con equipos y herramientas de perforación especializados. A continuación, en la Figura N° 43 se detalla las características de los equipos, así como los elementos complementarios a los mismos y se incluye al personal necesario.



Figura 43 - Anclajes empleados sobre concreto armado

Los principales equipos necesarios para la ejecución de anclajes son:

- Perforadoras hidráulicas
- Compresor
- Inyectora
- Puntas de perforación
- Barras de perforación
- Tuberías de revestimiento
- Accesorios y herramientas varias (llaves de ajuste, mangueras de inyección, contenedores para almacenaje de agua, combas, graseras, etc.)
- Equipo de tensado (gato de tensado y bomba hidráulica)

#### 4.1. Equipos de perforación

En el medio local y externo existen una variedad de marcas de equipos de perforación. Los equipos de perforación son equipos hidráulicos, con capacidad de movilizarse por sus propios medio o no, y con tamaños y capacidades que dependerá del sistema de perforación que se emplee (neumático o hidráulico). Las marcas más representativas de proveedores de equipos de perforación hidráulicas son:

- Atlas Copco (Suecia)
- Boart LongYear (E.E.U.U)
- Comacchio (Italia)
- Klemm (Alemania)
- Soilmec (Italia)
- Morath (Alemania)

##### 4.1.1. Descripción

Los equipos de perforación hidráulicos son equipos impulsados generalmente por motores a combustión y que normalmente están montados sobre orugas para lograr una mayor estabilidad al momento de realizar las perforaciones, lo que le permite movilizarse a través de terrenos agrestes.

Estos equipos de perforación son especialmente diseñados para trabajar con los métodos de perforación RAB<sup>14</sup> para lo cual será necesario suministrar un flujo de aire a través de las herramientas de perforación, y así lograr 2 objetivos principales:

- 1.- Eliminar el detrito generado por la perforación del suelo,
- 2.- Impulsar el sistema de martillo de fondo, en caso sea necesario. La descripción de este elemento se detalla en subcapítulo 4.6

Los equipos de perforación están equipados con caja de transmisión rotativas o cajas de transmisión roto-percutoras, los cuales permiten el acoplamiento de las herramientas de perforación y éstas a su vez perforan a través del suelo. Estas cajas obtienen su capacidad de trabajo a través de bombas hidráulicas impulsadas por motores a combustión o generadores eléctricos.

<sup>14</sup> Del inglés Percution Rotary Air Blast, donde emplea la fuerza de rotación con la fuerza de impacto generado por un martillo neumático.

La velocidad de rotación que estas cajas de rotación puedan generar es muy importante para lograr la mayor capacidad de perforación en terrenos blandos como los son suelos con presencia de arcillas y arena. En caso sea necesario, se podrá acoplar martillos de fondo para lograr el efector percutor a la herramienta de perforación

Las cajas de roto percusión, son componentes que pueden generar rotación y a su vez percusión. Esta función es necesaria en caso se utilicen herramientas de perforación sin emplear martillos de fondo.

Las cajas de rotación y/o roto percusión están ubicadas sobre una viga metálica, la cual cuenta con libertad de movimiento para poder posicionarse y realizar perforaciones en distintos ángulos y en distintas posiciones del equipo. Esta viga metálica permite a la caja de rotación o caja roto percutora, desplazarse hacia adelante y hacia atrás, permitiendo el empuje necesario para que la herramienta de perforación pueda ingresar al terreno.

En equipos actuales, las vigas vienen equipadas con un sistema de apoyo que facilita el guiado, ajuste y desajuste de las herramientas de perforación. Este sistema consiste en dos cilindros hidráulicos, los cuales cuentan con libertad de movimiento de salida y retracción, y giro del pistón de ajuste. Este elemento es muy útil y facilita la colocación de barras y tuberías de perforación.

Por debajo de la carrocería del equipo, se tienen 4 pistones hidráulicos, que funcionan como estabilizadores y reguladores del nivel del equipo, en caso de no contar con plataformas horizontales y estables.

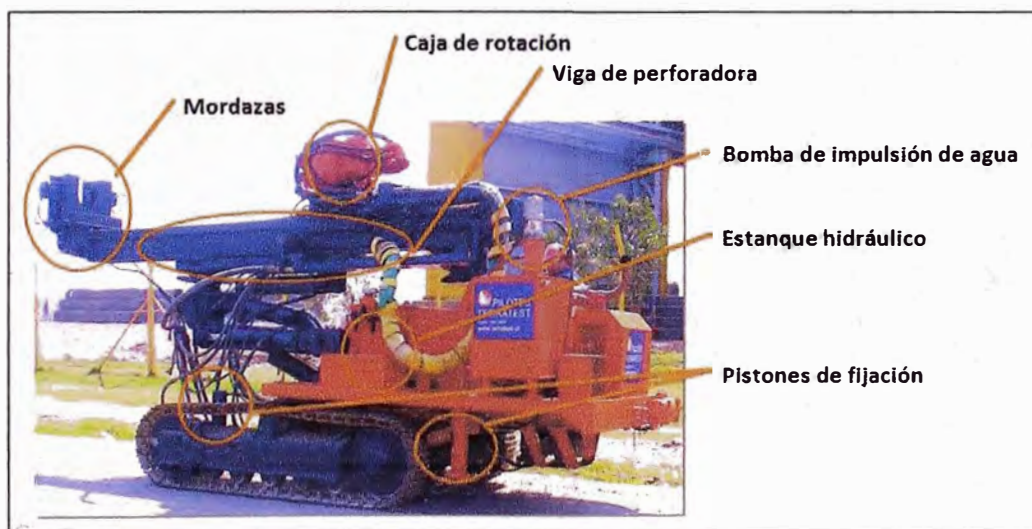
Además, estos equipos están equipados con paneles de control, para que el personal designado al equipo pueda operar y comandar al equipo de perforación. Estos controles pueden estar adosados lateralmente al equipo o mediante brazos extensibles.

En la actualidad se pueden encontrar en el mercado equipos con adaptaciones especiales que sirven de apoyo para actividades complementarias, entre éstas se tiene:

- Winches de apoyo para izaje de barras, anclajes y micropilotes cuando la viga se encuentra en posición vertical.

- Telecomandos para controlar las funciones básicas de perforación; el operador podrá controlar a distancia a través de éstos (controles interconectados a través de cable de transferencia de datos) o a distancia a través de comandos inalámbricos, permitiendo así estar a una distancia prudencial y facilitar el trabajo del operador.
- Controles de nivel y verticalidad, niveles electrónicos que permiten al operador verificar la posición del equipo con respecto a la horizontal.
- Botón de paradas de emergencia, ubicado en la viga o mástil del equipo. Es común en estos equipos que los botones para parada de emergencia se ubiquen en distintos puntos del equipo, ya que como se explicará más adelante, los ayudantes de perforación estarán ubicados en varias posiciones del equipo para las actividades complementarias.
- Mordazas de apriete o guías de centrado, para facilitar la fijación de la tubería de perforación y su alineamiento con respecto a la viga o mástil del equipo.
- Pistones de fijación, para estabilizar y nivelar el equipo perforador.
- Estanques y bombas de impulsión de agua, para inyectar agua en el momento de la perforación para mitigar la generación de polvo, o para inyectar aditivos estabilizadores como espumas y lubricantes.

A continuación en la Figura N° 44 y 45 se muestran algunas ilustraciones de equipos de perforación.



**Figura 44 - Perforadora hidráulica Marca Mustang, modelo CB65**





Figura 45 - Perforadora hidráulica Marca Comacchio modelo MC800

#### 4.1.2. Especificaciones técnicas de los equipos de perforación

A continuación en la Figura N° 46 y 47 se muestran especificaciones técnicas de los equipos disponibles en el ámbito local, con la finalidad de servir como referencia sobre la marca, modelo, potencia, características, dimensiones, capacidad, y funcionalidad que deberán tener los equipos de perforación.



Figura 46 a - Perforadora hidráulica marca ATLAS COPCO



Máquina ATLAS COPCO Modelo	A-52 CBD
No. Serie Máquina	
Año de Fabricación	1998
<b>Especificaciones Técnicas del equipo</b>	
Largo de la viga	5.80 mts.
Peso operativo aproximado	11 ton
Motor máquina	Deutz F5L 912 #8.508.638
Potencia motor	83 HP
Velocidad máxima del motor	2.150 rpm
Unidad de rotación	Eurodrill HD 5080
Velocidad de rotación	2 velocidades (23 – 46 rpm)
Torque máximo	12.000 Nm
Velocidad de avance	22 m/min
Fuerza de avance y retroceso	49 KN
Adaptador Shank	H64
Winche	1.8 Ton.
Zapatas ancho	300 mm
Bomba de Agua de pistones S35	20 l/min a 35 bar de máxima.
Lubricador DTH	8.5 l a 14 bar en línea de 2"

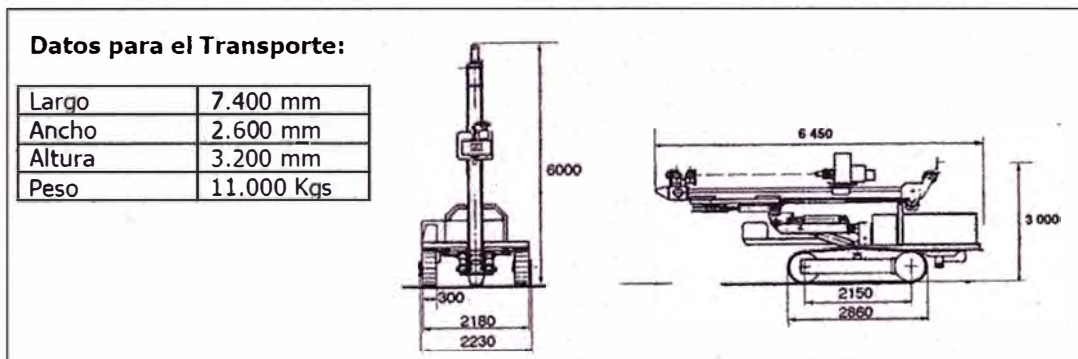


Figura 46 b - Especificaciones técnicas perforadora ATLAS COPCO



Figura 47 a - Perforadora hidráulica Comacchio

Máquina Comacchio Modelo	MC-800
No. Serie Máquina	
Año de Fabricación	2010
<b>Especificaciones Técnicas del equipo</b>	
Largo de la viga	7.20 m
Peso operativo aproximado	14 ton
Motor máquina	Deutz BF4M 2012C
Potencia motor	120 HP
Velocidad máxima del motor	2.300 rpm
Unidad de rotación	Eurodrill HD 5080
Velocidad de rotación	2 velocidades (23 – 46 rpm)
Torque máximo	12.000 Nm
Velocidad de avance	22 m/mln
Fuerza de avance y retroceso	60 KN
Adaptador Shank	H64
Winche	2 Ton.
Zapatas ancho	400 mm
Bomba de Agua de pistones S35	20 l/min a 35 bar de máxima.
Lubricador DTH	8.5 l a 14 bar en línea de 2"

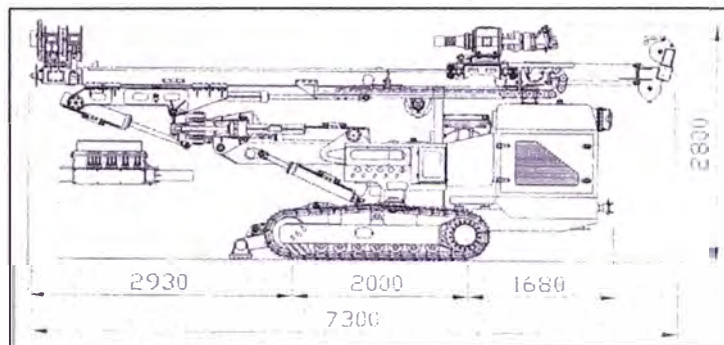


Figura 47 b - Especificaciones técnicas perforadora Comacchio

#### 4.2. Compresores

Los compresores son empleados para generar un flujo de aire en presión y caudal previsto.

Los compresores son equipos que toman el aire del ambiente y lo impulsan a una determinada presión y caudal. Estos equipos normalmente son impulsados por un motor a combustión y no cuentan con movilidad por sus propios medios.

La presión y caudal pueden ser regulados a través de un panel de control del equipo.

Éste flujo de aire cumple dos funciones principales:

- Provisiona el impulso de aire necesario para generar la percusión del martillo de fondo, mecanismo neumático que permite el paso del aire a

través de él. Dependiendo del diámetro del martillo de fondo seleccionado, marca y modelo se deberá proporcionar al sistema el suficiente flujo para su correcto funcionamiento.

- Eliminar el detrito del suelo, esa función es muy importante ya que permite la eliminación del material triturado. El material expulsado pasa a través del espacio anular generado por la tubería de revestimiento y la barra de perforación.

En la Figura N° 48 se muestra un compresor de la Marca Sullair de las características necesarias para los trabajos de perforación, las cuales deberá estar dentro de los siguientes rangos:

- Potencia del motor: entre 250HP a 350HP
- Tipo: Tornillo 1er etapa
- Caudal Máximo: 750pcm
- Presión de trabajo entre: 80 a 220psi



Datos técnicos	
Descripción	Compresor de aire portatil
Tipo:	Tornillo de una etapa
Caudal:	30m3/min
Motor:	300hp
Presión:	7 kg /cm2
Largo:	4851 mm
Ancho:	2210 mm
Alto:	2280 mm
Peso:	4774 kg

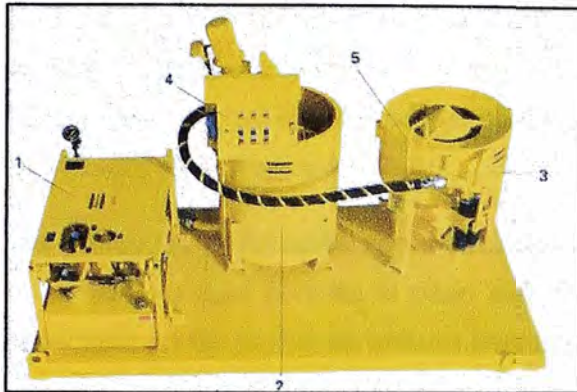
Figura 48 - Compresor de aire, Marca Sullair

### 4.3. Inyectoras

Las inyectoras son equipos de mezclado e impulsoras de fluidos, especialmente diseñados para poder impulsar una mezcla de agua cemento hasta un mortero.

Los equipos de inyección son normalmente equipos hidráulicos impulsados por electricidad, cuentan con 2 bateas, una de ellas equipada con paletas de mezclado y la otra que sirve como estanque para el almacenamiento del fluido previo a la impulsión, tal como se muestran en las Figura N° 49.





Leyenda	
1.	Bomba de Inyección de Lechada
2.	Agitador.
3.	Mezclador de Cemento.
4.	Panel de Control eléctrico.
5.	Medidor de Caudal de Agua.

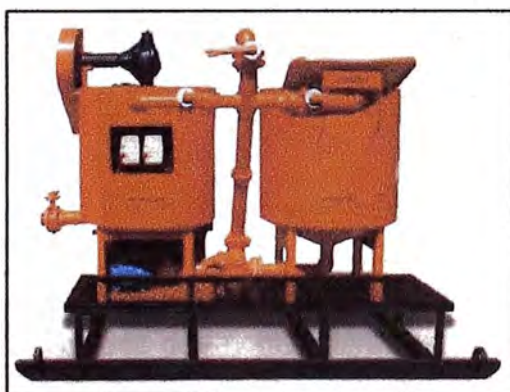
Figura 49 - Esquema de una Central de Inyección general

En las Figuras N° 50 y 51, se muestran algunos equipos de inyección de lechada



Datos técnicos	
Descripción	Inyectora de pistón
Marca	Atlas Copco
Cilindros:	4
Potencia:	60HP
Torque:	132 lb-ft
Salida:	3" a 4 1/2"
Capacidad mezclado:	800l
Caudal de bombeo:	0-230l/min
Presión de bombeo:	115-800psi
Tamaño de partícula máx.:	5mm

Figura 50 - Inyectora Atlas Copco – Unigrout,



Datos técnicos	
Descripción	Inyectora de pistón
Marca	Sondeq
Cilindros:	2
Potencia:	27HP
Torque:	
Salida:	2" a 3 1/2"
Capacidad mezclado:	500l
Caudal de bombeo:	0-60l/min
Presión de bombeo:	100 bar
Tamaño de partícula máx.:	2mm

Figura 51 - Inyectora Sondeq SM 500H

#### 4.4. Barras de perforación

Las barras de perforación o transmisión son elementos que transmiten la torsión de la caja de rotación hacia la punta de perforación, como se muestra en la

Figura N° 52. Estas barras son elementos metálicos que cuentan con sistemas de roscas macho y hembra en los extremos que permiten su acople a otras barras, de tal forma de profundizar la perforación en la longitud necesaria según se muestra en la Figura N° 53.

Las barras de perforación son elementos que cuentan con un orificio central en su interior, el cual permite el paso del aire a través de ellas. Para el acople y desacople de las barras se utilizan barras de calado especiales.

Las barras son provistas por empresas especializadas, fabricadas especialmente para éste fin por la calidad de acero necesario para resistir la percusión del martillo de fondo y la torsión del equipo de perforación.



Figura 52 - Barras de perforación roscadas

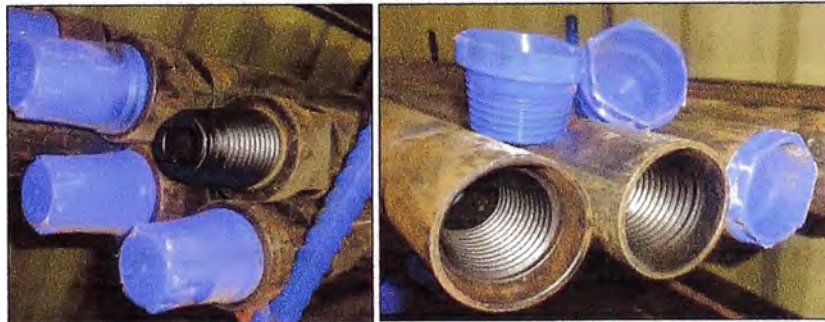


Figura 53 - Rosca macho y hembra de barras

Las medidas que normalmente se encuentran en el mercado extranjero varían entre 1m y 3m de longitud. Estas medidas van de acuerdo a la longitud de viga del equipo perforador el cual nos limitará la longitud de barra que podemos colocar. Además ésta longitud también es óptima para el transporte por el personal de apoyo del equipo perforador. En la Figura N° 54 se puede apreciar los diámetros y medidas más usadas.

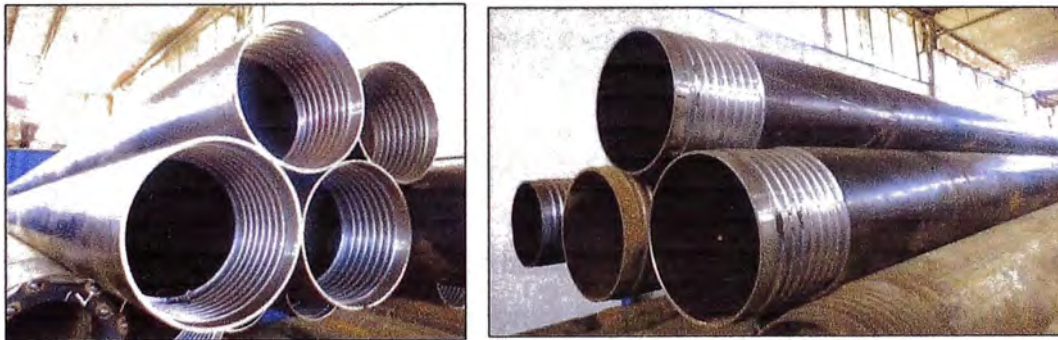


Descripción	tipo de unión	peso (kg)	diametro externo (mm)	diametro interno (mm)	espesor (mm)
70 x 1000mm	API 2"3/8 Reg	11	76	30	23
76 x 1500mm	API 2"3/8 Reg	15	76	30	23
70 x 2000mm	API 2"3/8 Reg	18	76	30	23
70 x 3000mm	API 2"3/8 Reg	25	76	30	23

**Figura 54 - Especificaciones técnicas de las barras**

#### 4.5. Tubería de revestimiento

Las tuberías de revestimiento o "casing" son tuberías metálicas que permiten contener el suelo colindante de la perforación evitando su desprendimiento. Las tuberías son elementos roscados en ambos extremos que permiten su acople a lo largo de la longitud de perforación deseada. Según se muestra en la Figura N° 55



**Figura 55 - Rosca macho y hembra en tuberías de revestimiento**

Las tuberías de revestimiento ingresan al terreno por impacto, fuerza que genera la percusión del martillo de fondo. Para que esto suceda es necesario que la primera tubería de revestimiento esté equipada con un anillo zapata, el cual es un elemento cilíndrico con menor diámetro interno que la tubería. Este anillo genera un tope a la punta de perforación que está equipada con una guía tope, acoplada en la parte final de las barras de perforación y al martillo de fondo, de tal forma que transmite el impacto generado por el martillo a la tubería de revestimiento. En la Figura N° 56 se detalla las partes del frente de ataque del equipo de perforación.

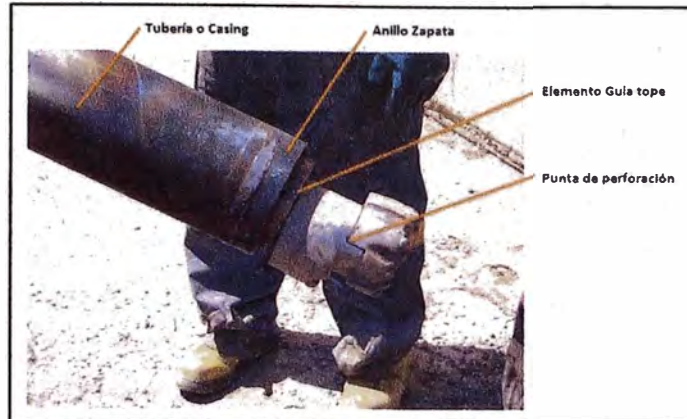


Figura 56 - Punta de ataque del sistema de perforación

#### 4.6. Martillo de fondo

El martillo de fondo o DTH Hammer<sup>15</sup> es un elemento compuesto de un cilindro hueco que en su interior cuenta con un pistón accionado por la fuerza del aire que pasa a través de él. Se denomina martillo de fondo, dado que se ubican dentro de la perforación inmediatamente después de las barras de perforación, y antes de la punta de perforación.

Este elemento deberá ser seleccionado por dos variables, una de ellas, por el diámetro de perforación deseada, y la segunda por el tipo de suelo a perforar. Cabe mencionar que el diámetro del martillo de fondo deberá ser el mismo que las barras de perforación, de tal forma que no se generen diferencias de diámetros ente ambas interrumpiendo el paso del detritus a través del espacio anular generado por la barra y la tubería de revestimiento. En la Figura N° 48 se muestra las partes de un martillo de fondo.

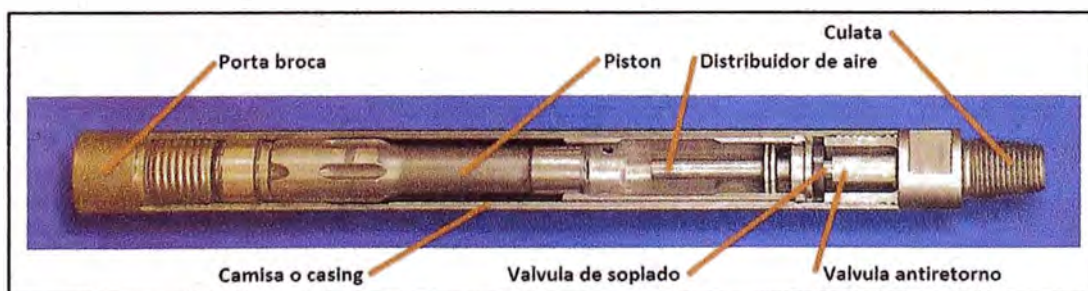


Figura 57 - Esquema interior del Martillo de fondo, Puma 3.1

<sup>15</sup> Proviene de las siglas en ingles Down The Hole

De acuerdo a las características del martillo de fondo, se deberá proveer al sistema el flujo de aire necesario para su correcto funcionamiento.

La fuerza percutora también puede ser generada por una caja roto percutora instalada en la viga del equipo perforador, el cual a diferencia del martillo de fondo genera la percusión mediante un mecanismo hidráulico. Los martillos de fondo son componentes con mejor desempeño en perforaciones de longitudes mayores a 6m, debido a que la fuerza de impacto generada se disipa a lo largo de las barras de perforación en toda su longitud, tal como se muestra en la Figura N° 58.

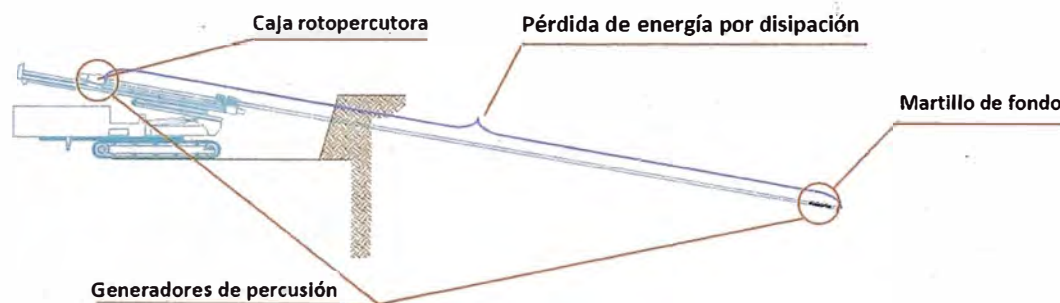


Figura 58 - Esquema de pérdida de energía por disipación

A continuación en la Figura N° 59, se detalla las especificaciones técnicas de los martillos de fondo más usados.

Tamaño	Datos técnicos				
	3"	4"	5"	6"	8"
Longitud (Sin broca)	930mm	1030mm	1170mm	1248mm	1487mm
Peso (Sin broca)	24.50kg	39.20kg	71.5kg	98	188.00kg
Diámetro exterior	¢ 81mm	¢ 99mm	¢ 125mm	¢ 142mm	¢ 180mm
Rango de agujero	¢ 90- ¢ 110	¢ 110- ¢ 135	¢ 135- ¢ 155	¢ 155- ¢ 190	¢ 195- ¢ 254
Conexión roscada	API23/8" Reg	API23/8" Reg	API23/8" Reg O	API31/2" Reg	API41/2" Reg
Presión de Trabajo	0.5-2.5 Mpa	0.5-2.5 Mpa	0.5-2.5 Mpa	0.5-2.5 Mpa	0.5-2.5 Mpa
Tasa de impacto de barra 17	28HZ	27HZ	25HZ	23HZ	20HZ
Velocidad de rotación recomendada	28r/min	25-40r/min	20-30r/min	15-25r/min	15-20r/min
Aire Barra 10 Barra 18 Barra 24	80L/S	100L/S	145L/S	175L/S	190L/S
	160L/S	180L/S	280L/S	340L/S	370L/S
	210L/S	250L/S	390L/S	475L/S	495L/S

Figura 59 - Datos técnicos de los martillos de fondo



#### 4.7. Puntas de perforación

Los elementos de un sistema de perforación transmiten la energía generada por los equipos de perforación hacia el terreno permitiendo que este perfore a través de ella.

Se denomina sistema de perforación a un conjunto de elementos que se acoplan entre sí permitiendo en su conjunto cumplir funciones de acuerdo al sistema de perforación empleado. Los elementos son piezas que permiten el cambio o remplazo individual de cada una de ellas, por mantenimiento, desgastes o rotura, sin la necesidad de cambiar todo el sistema completo lo cual sería un gasto innecesario.

Cada elemento del sistema cumple una función específica, y éstos dependerán de la marca y modelo de cada proveedor. Los proveedores de estos elementos, normalmente mantienen una patente sobre sus productos y los fabrican de tal manera que no sea posible intercambiar con otro elemento de otra marca o fabricante. En todo caso los proveedores siguen un lineamiento para la fabricación de los sistemas de perforación y les añaden ciertas características especiales, los cuales los distinguen de sus competidores.

En general, en la Figura N° 60 se pueden distinguir las siguientes partes de una punta de perforación:

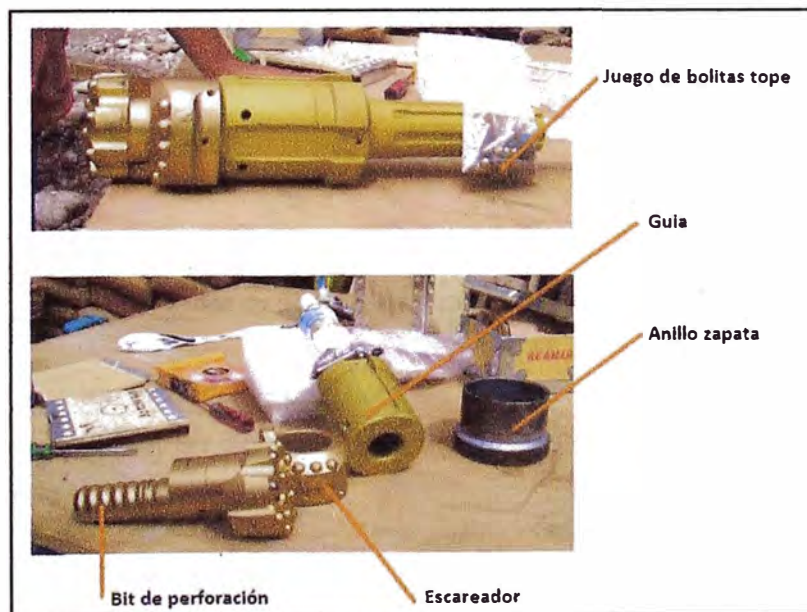


Figura 60 - Punta de perforación Odex 90 Marca Atlas Copco

a) Broca o "bit" de perforación

Es un componente del sistema de perforación, es parte que estará en contacto con el suelo, el cual deberá resistir la fricción y percusión transmitida por la caja de rotación y martillo de fondo, permitiendo triturar el suelo o roca a un tamaño lo suficientemente pequeño que permita ser expulsado por el barrido de aire a través del espacio anular entre la barra de perforación y el orificio de perforación o la tubería de revestimiento.

En el mercado actual se pueden encontrar puntas de perforación de diferentes medidas, modelos, tamaños y con mecanismos especiales de acuerdo con el sistema de perforación empleado y la marca seleccionada. A continuación en la Figura N° 61 y 62 se muestra ejemplos de brocas de distintos proveedores.



Figura 61 - Punta de perforación con botones, Marca Maxdrill



Figura 62 - Punta de perforación con botones, Marca Atlas Copco

Las brocas, están equipadas con botones balísticos compuestos generalmente en base a tungsteno, un elemento con una dureza muy alta capaz de resistir el impacto hacia la roca o suelo.

b) Escareador

Es un componente que permite aumentar el diámetro de perforación generado por la broca de perforación de tal forma de permitir el avance de la tubería de



perforación, normalmente es un componente excéntrico, esto quiere decir que es un componente que permite aumentar el diámetro de giro, cuando la herramienta gira en un sentido y se retraiga, para permitir el ingreso y extracción de la punta de perforación a través de la tubería, cuando se gire en sentido opuesto.

Este elemento al igual que la broca de perforación cuenta con botones balísticos de alta resistencia al impacto y fricción, ubicados radialmente.

c) **Guía**

Es el elemento que soporta el escareador y a la broca de perforación. Además cuenta con un tope ubicado radialmente al final del cuerpo. Este tope impide que la punta de perforación atraviese el anillo zapata y además es el elemento de transmitir la fuerza de impacto del martillo de fondo a la tubería de revestimiento.

d) **Juego de bolitas tope**

Es un conjunto de topes y bolitas el cual aseguran que la broca y el escareador no se desajusten en la etapa de perforación. Como bien se ha explicado, es un conjunto que estará constantemente expuesto a una fuerza de torsión y de impacto.

#### 4.7.1. Tipos de puntas de perforación

Los lineamientos de estos sistemas dependerán del tipo de suelo a perforar, compacidad del suelo, tamaño de bolonería, o características de la roca en caso se perfore sobre roca. Es por eso que se presentarán a continuación los sistemas de perforación de forma general, sin basarse específicamente a detalles de cada proveedor.

a) **Para suelos blandos y cohesivos**

Para suelos blandos y cohesivos, como los son las arcillas y limos se emplea el tricono, el cual es una punta de perforación que se basa en perforación solo a rotación (no es necesario el empleo del martillo de fondo).

Para ello la punta tricono se instala a continuación de las barras de perforación si ningún acople o elemento adicional. La triple broca del sistema tricono tiene libertad de movimiento en su mismo eje, mientras toda la broca de perforación gira en el eje de la barra, de esta forma es capaz de descomponer el suelo en

partículas muy finas, que serán expulsados debido a la aplicación del flujo de aire.

Este sistema de perforación no cuenta con ningún acople especial que permita el empleo de tuberías de revestimiento, tal como se muestra en la Figura N° 63, debido a que se asume que la cohesión del suelo es capaz de garantizar la estabilidad de las paredes de perforación



Figura 63 - Punta de perforación tricono

b) Para rocas y suelos cohesivo de alta compacidad

Para rocas y suelos cohesivos con alta compacidad, podemos se emplean sistemas de perforación convencionales, tal como se muestra en la Figura N° 64, que al igual que en el caso anterior tampoco es necesario recubrir la perforación con tuberías de revestimiento.

Lo que diferencia al sistema anterior es la necesidad de emplear un martillo de fondo para lograr la fuerza de impacto capaz de triturar la roca ó penetrar en el suelo de alta compacidad.

El único componente dentro de este sistema en la broca de perforación el cual se instalará posterior al martillo de fondo. Esta broca de perforación no va acompañado de la guía tope ni el escareador ya que no es necesario entubar la perforación.

Es importante mencionar que el diámetro de la perforación dependerá únicamente del diámetro de la broca o bit convencional.

La broca de perforación cuenta con botones balísticos de alta dureza los cuales permite resistir la fuerza de impacto y fricción que se genera en el contacto de la herramienta y el suelo o roca.



Figura 64 - Punta de perforación sistema convencional

- **Sistemas con tubería recuperable**

Los sistemas de perforación con tubería recuperable se emplean en suelos no cohesivos o muy fracturados, en donde no se garantiza que las paredes de perforación sean estables. De esta manera se podrían generar derrumbes, que implicarían atrapamiento de las herramientas dentro del pozo, debilitamiento del suelo colindante por desmoronamiento, aumento de la cantidad de mezcla necesaria para rellenar la cavidad del pozo perforado.

Las tuberías de revestimiento son elementos de un diámetro mayor de las barras y puntas de perforación de tal forma que éstas últimas puedan ingresar a través de las tuberías.

Para lograr que las tuberías de perforación puedan ingresar conjuntamente con la punta de perforación, las puntas vienen equipadas con dispositivos de enganche que permiten arrastrar con ellas a la tubería de revestimiento, en el momento que la punta va avanzando a través del terreno. Es necesario entonces, un sistema que permita aumentar el diámetro de la perforación de la punta, el cual se logra a través de un escareador o corona, instalado en la punta de perforación o en la tubería de revestimiento respectivamente.

Estos sistemas pueden ser diferenciados por el sistema de perforación del espacio anular de la tubería y del sistema de empuje de la misma. Se pueden distinguir 2 tipos de puntas de perforación

- **Perforación excéntrica.**

Este tipo de punta de perforación permite que el escareador se exponga para aumentar el diámetro de perforación y permita el paso de la tubería de revestimiento y se retraiga cuando sea necesario insertarla o extraerla a través de la tubería de revestimiento.

A continuación, en la Figura N° 65, se detalla las partes de un conjunto de perforación excéntrica.



Figura 65 - Punta de perforación sistema de escareador excéntrico.

Para lograr este mecanismo el escareado cuenta con un orificio central no concéntrico, y además la broca de perforación cuenta con un tope para evitar que el escareador gire incontroladamente.

Las brocas y el escareador cuentan con refuerzos de botones balísticos para mejorar su resistencia y durabilidad en la perforación.

- Perforación simétrica

En este sistema de perforación no presenta ningún escareador excéntrico. Para permitir que la tubería avance a través del terreno, la punta de perforación está equipada con una corona anular del mismo diámetro que la tubería de revestimiento, con libertad de movimiento, el cual permite el giro conjuntamente con la broca de perforación.

El rango de diámetro de las tuberías que podemos encontrar en el mercado, están entre los 76 a 1220mm (3 a 48 pulgadas)

La corona va soldada a la tubería de revestimiento y logra su avance debido a que la broca de perforación cuenta con unas guías de arrastre que encajan dentro de las guías internas de la corona, así como se indica en la Figura N° 66.

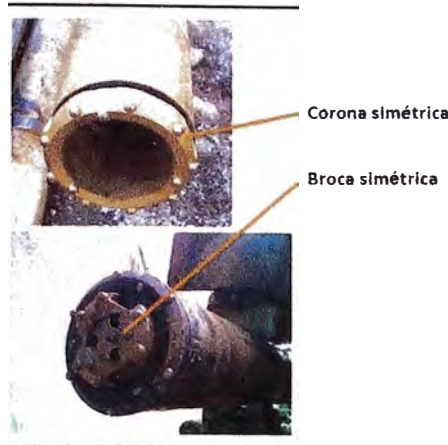


Figura 66 - Punta de perforación sistema Simetrix, Marca Atlas Copco

#### 4.8. Equipo de tensado

Los equipos de tensado está compuesto por dos elementos principales y accesorios complementarios, según se muestra en la Figura N° 67.

A continuación se detallan los equipos para realizar el tensado de los anclajes.

##### 4.8.1. El gato hidráulico

El cual está compuesto de un pistón que es accionado por una fuerza hidráulica. Este pistón cuenta con un orificio central, por donde el cable pasará a través de él.

Existen 3 características principales, los cuales están directamente relacionados con la actividad de tensado de cables. Las cuales son:

- Fuerza de tensado, es la capacidad de fuerza que genera el equipo, y se mide normalmente como la fuerza máxima que genera el equipo de acuerdo al tipo y modelo. En el mercado se pueden encontrar equipos de capacidades máximas de 120Ton hasta 600Ton.
- Carrera del pistón, es la longitud de salida del pistón, normalmente relacionada con el tamaño del equipo. Esta característica permitirá tensionar cables los cuales presenten una elongación mayor al tensado, sin la necesidad de acuñar el cable para poder soltar el pistón, retraerlo y volver a tensionar.
- Cantidad de cables a tensar, normalmente relacionado con el diámetro del orificio central, el cual permitirá una mayor cantidad de cables que



pasen a través de él. Y se miden normalmente como la cantidad máxima de cables que pueden tensionar, y se encuentran en el mercado desde capacidades máximas de 7 a 22 cables.

#### 4.8.2. Bomba hidráulica

Es un equipo generador de flujo hidráulico, impulsado por un motor a combustión o energía eléctrica. La selección de la bomba hidráulica estará relacionada al gato hidráulico necesario para llegar a las cargas de tensado solicitadas. Normalmente se emplean bombas hidráulicas de hasta 600 bares de presión máxima y con aporte de flujo entre 3 y 7 l/min.

#### 4.8.3. Sillas de tensado

La silla de tensado es un accesorio el cual permite transmitir las fuerza de tensionamiento del gato hidráulico a los cables del anclaje. Este elemento cuenta con orificios individuales para cada cable. Es necesario cambiar de silla de tensado cada vez que se deba tensar cables de distintas cantidades de cables.

#### 4.8.4. Reloj comparador

Es un instrumento de medición de alta precisión, también llamado deformímetro, el cual permite medir la deformación del cable, debido a la fuerza aplica en él. Este equipo se posiciona al término del anclaje y normalmente se apoya en un punto fijo, como lo puede ser un trípode de apoyo.

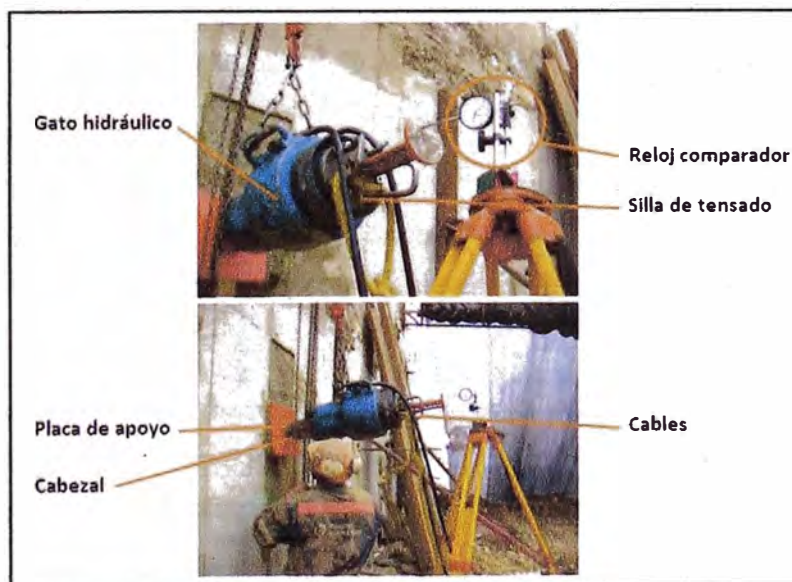


Figura 67 - Equipo de tensado

En el mercado local e internacional se puede encontrar una gran variedad de marcas y modelos, entre las principales marcas tenemos a Mitutoyo, Messner, Baker, Schwyzs, pudiendo ser éstos análogos o digitales. La precisión mín que deberá tener el reloj comparador para las pruebas de deformación es de 0.01mm.

#### **4.9. Personal de trabajo**

El personal necesario para realizar los trabajos de perforación e instalación de los anclajes, deberá ser en cantidad suficiente y necesaria para realizar los trabajos correctamente. Si bien es cierto que la cantidad de personas que componen una cuadrilla de perforación dependerá de las condiciones de obra y de los equipos y herramientas a emplear, se podrá tomar como referencia la siguiente cantidad de personas:

- 1 Supervisor de campo
- 1 Operador de la perforadora.
- 2 Ayudantes de perforación.
- 1 Operador de la inyectora.

Es importante indicar que en el medio local es muy difícil encontrar personal especializado o con experiencia en este rubro, por lo que las empresas locales o extranjeras que prestan los servicios de perforación e instalación de anclajes han tenido que expatriar personal extranjero para capacitar a su personal local. Las capacitaciones se realizan internamente en las empresas y transfieren los conocimientos mediante manuales internos o enseñanza directa.

Se ha de indicar que para la realización de los muros anclados, adicionalmente será necesario contar con personal especializado para realizar el perfilado del terreno, enfierradores, encofradores, y personal para el vaciado del muro de contención.

##### **4.9.1. Supervisor de perforación**

Es el encargado de coordinar las actividades en terreno, relacionadas a los trabajos de perforación de anclajes.

El encargado deberá conocer los procedimientos de perforación e instalación de anclajes, equipos y sistemas de perforación, así como los materiales y herramientas a emplear.

Además deberá tener control sobre el personal a su cargo para poder dar las indicaciones necesarias y corregir cualquier error dentro de los procedimientos establecidos.

En cuanto a sus funciones, debe coordinar los trabajos de habilitación de las plataformas de trabajo, aptas para que el equipo de perforación pueda desenvolverse sin mayores contratiempos, seleccionará las ubicaciones de los equipos y su distribución en la obra, dirigir el personal a su cargo dentro de las labores de perforación, seleccionar las herramientas de perforación adecuadas y verificar y comprobar el correcto uso de las mismas. Además tiene la función de velar por la calidad de los trabajos y la seguridad del personal a su cargo.

En el ámbito administrativo, tendrá las funciones de preparar los reportes y protocolos de anclajes, así como el tareo del personal a su cargo y solicitud de herramientas y materiales que sean necesarios al Ingeniero Residente para el correcto desarrollo de los trabajos.

El supervisor deberá dar aviso al Ingeniero Residente ante cualquier anomalía en el desarrollo de los trabajos, así como cualquier procedimiento irregular o no estandarizado para su evaluación y toma de decisión.

En la Figura N° 68 se muestra a un encargado de perforación supervisando los trabajos de perforación de anclajes.



Figura 68 - Supervisor de campo

#### 4.9.2. Operador del equipo perforador

Es el personal calificado el cual tendrá la responsabilidad de operar el equipo de perforación y de dirigir a los ayudantes en sus labores complementarias.

#### 4.9.3. Ayudantes

Los ayudantes son las personas que asistirán en las labores de perforación, instalación del anclaje e inyección de la misma. En una cuadrilla será necesario dos ayudantes y sus funciones principales son: la preparación de los equipos para su correcto funcionamiento, colocación e instalación de las barras y camisas de perforación, inserción y colocación del tensor dentro del pozo, retiro de barras y camisas de perforación del pozo perforado y asistencia para la inyección del anclaje.

Para las funciones descritas anteriormente, deberán emplear herramientas manuales de ajuste y colocación, y deberán acercarse al equipo perforador. Es muy importante que estas labores se realicen de tal forma que el operador tenga, en todo momento, una completa visión de sus ayudantes para evitar movimientos del equipo que puedan lesionar o afectar a los trabajadores.

En la Figura N° 70, se muestra a los ayudantes de perforación retirando las tuberías de revestimiento, en el momento de inyección del anclaje



Figura 70 - Ayudantes de perforación

#### 4.9.4. Operador de la inyectora.

Es la persona encargada de operar el equipo de mezclado e inyección de la mezcla agua-cemento, además será de su responsabilidad la preparación de la mezcla en la relación necesaria y verificar las presiones de inyección cuando sea necesario.

En la Figura N° 71, se muestra a un operador de la inyectora preparando la lechada de cemento, instantes previos a la inyección del anclaje.



**Figura 71 - Operador de la inyectora**



## **CAPÍTULO V: SECUENCIA CONSTRUCTIVA DEL MURO ANCLADO**

La secuencia constructiva de muro anclado estará relacionada al diseño de los paneles de los muros anclados, y estos a su vez con las características del suelo. Los planos de diseño nos darán a conocer las profundidades de excavación, cantidad de anclajes a realizar y conocer las dimensiones del apanelado del muro.

Con la información contenida en los planos se podrá:

- Realizar la programación de obra.
- Seleccionar el sistema constructivo para la perforación de anclajes, habilitación de acero, tipo de encofrado, sistema de vaciado de los muros, método de eliminación del material.
- Seleccionar los equipos en cantidad y tamaño de acuerdo a los espacios disponibles. (Equipos de perforación de anclajes y equipos de movimiento de tierras)
- Dimensionar el encofrado a utilizar para la construcción del muro.
- Dimensionar el acero para su habilitación.
- Conformar las cuadrillas de encofradores, enfierradores y personal para el vaciado del muro.

En las Figuras N° 72 y 73 se ilustra un plano típico en planta y corte de la distribución de muros anclados. Para un mayor detalle los planos se adjuntan como Anexo N° 4. Los planos en planta y elevación deberá contener la siguiente información:

- Esquema y distribución de los anclajes en planta, indicando separación entre ellos, numeración respectiva y ángulos de instalación con respecto al eje del muro de contención.
- Cuadro de identificación de anclajes, indicando el tipo de anclaje, cantidad de torones por cable, ángulo de inclinación del anclajes con respecto a la vertical, altura del anclajes por cada nivel, longitud del bulbo, longitud libre, cantidad de anclajes por nivel, y fuerza de tensado.
- Especificaciones técnicas de los anclajes, indicando normativa empleada, descripción de los materiales a emplear, tolerancias máximas.

- Esquema de la zonificación de los anclajes, donde se deberá diferenciar las zonas de acuerdo a los tipos de anclajes empleados.
- Membrete con información de la obra, dirección, empresa que desarrolla la ingeniería, autores (diseño y dibujo), revisión del plano, descripción del plano.
- Elevaciones con distribución de los anclajes por nivel, interferencias estructurales (como columnas, losas, vigas)
- Elevaciones con cotas de los paños y dimensiones de los apanelados.

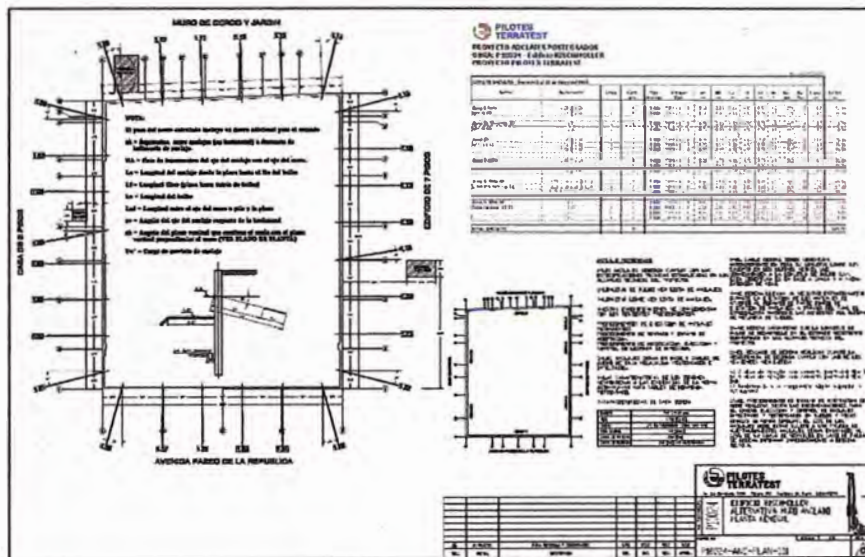


Figura 72 - Plano en planta de distribución de anclajes<sup>16</sup>

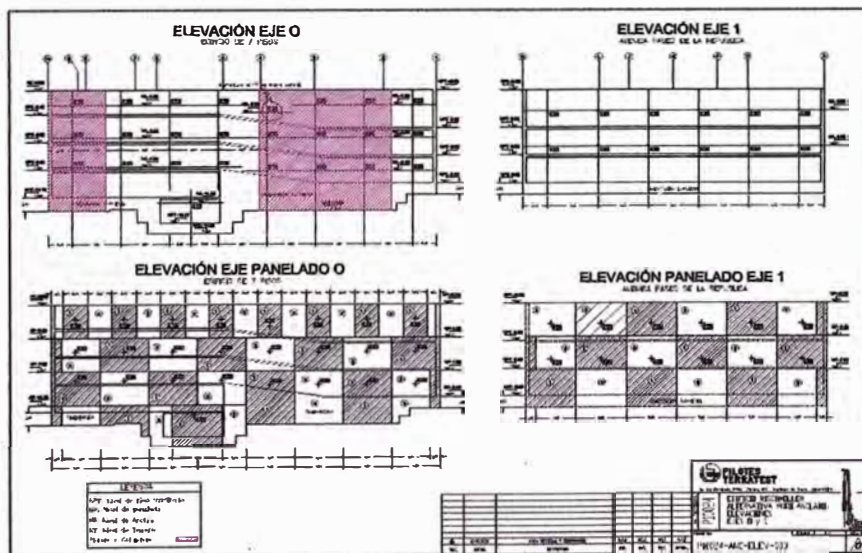


Figura 73 - Plano en elevación de distribución de anclajes<sup>17</sup>

<sup>16</sup> Fuente: Pilotes Terratest Perú SAC – Edificio Rischmoller

### 5.1. Secuencia del proceso constructivo del muro anclado

El muro anclado es un sistema de sostenimiento de taludes que se deberá construir en una secuencia por batches<sup>18</sup>, construyendo los muros de forma intercalada. Esto significa que si se numera alternadamente los paneles o muros de contención con el número 1 y 2, se deberá empezar con los muros de numeración, ya sea impar o par, y una vez que estos muros estén contruidos y tensados, se podrá ejecutar la numeración par o impar según corresponda. La secuencia de construcción del muro en forma intercalada tiene la finalidad de evitar dejar completamente, en su longitud horizontal, el talud expuesto, evitando así posibles derrumbes y asentamientos en edificaciones vecinas.

La construcción del muro de contención se realiza desde arriba hacia abajo simultáneamente con el progreso de la excavación, de la forma indicada anteriormente. Por cada nivel de excavación el tensado del anclaje en el muro se va realizando a medida que el muro va adquiriendo las resistencias mínimas para el tensado.

La secuencia constructiva del muro anclado se ilustra en las Figuras N° 74 a la 77 y como se menciona a continuación:

- a) Se realiza la excavación del terreno hasta la cota del primer nivel de excavación. Se deberá dejar una banqueta<sup>19</sup> en el perímetro del terreno excavado o límite de propiedad, si fuere el caso, para garantizar la estabilidad del mismo mientras dure los trabajos de construcción del muro.
- b) Seguidamente se realiza la perforación e instalación de los anclajes temporales o permanentes según sea el caso, de acuerdo al plano de ubicación de anclajes.
- c) Eliminación de las banquetas de protección perimetral, de acuerdo a la secuencia intercalada, en los paneles impares o pares.
- d) Colocación del acero de refuerzo del muro de contención.
- e) Instalación del encofrado y su apuntalamiento, como un encofrado convencional muro de contención contra el terreno.

<sup>17</sup> Fuente: Pilotes Terratest Perú SAC – Edificio Rischmoller

<sup>18</sup> Término que se emplea en la excavación alternada y relleno por un material competente para estabilizar taludes y/o estructuras vecinas.

<sup>19</sup> Masa de suelo no excavado que soporta los empujes temporalmente hasta la construcción del muro de contención anclado. Normalmente deberá tener un ancho de un metro entre el límite de propiedad y el inicio del talud de excavación. Esta distancia podrá ser mayor en suelos no cohesivos como las arenas.

- f) Vaciado del concreto.
- g) Desencofrado y curado del muro de concreto armado. Incluyendo la espera para la verificación de la resistencia necesaria del concreto para realizar el tensado
- h) Tensado de los anclajes de los muros de contención impares o pares de acuerdo a la numeración seleccionada.
- i) Construcción del panel contiguo repitiendo las actividades desde el punto c)
- j) Tensado del anclaje de los paneles contiguos.
- k) Una vez completado el tensado de los anclajes correspondientes a la primera línea se realiza el movimiento o eliminación de tierras hasta el siguiente nivel de excavación, de tal forma que se conforme una nueva plataforma de trabajo.
- l) Para la ejecución de los muros anclados de los subsiguientes niveles, se repiten los procedimientos indicados anteriormente hasta llegar a la cota de suelo de fundación.
- m) Una vez terminado todos los niveles del muro anclado, se procede a la construcción de la cimentación del edificio, para continuar posteriormente con las columnas y las losas de los sótanos, las cuales se irán construyendo progresivamente desde abajo hacia arriba. Las losas de los sótanos servirán como estructuras de arriostre a los muros de contención anclado, por lo que los anclajes dejarán de cumplir su función y podrán ser destensados. Los anclajes se podrán destensar una vez que se complete las todas las losas de los sótanos.
- n) El último paso es rellenar y tarrajear los orificios o cavidades en los muros de contención, que fueron realizados para permitir los pases dejados para la instalación del anclaje

Es importante mencionar que si bien es cierto que el destensado considera cortar los anclajes en la zona de la placa de apoyo, los anclajes quedarán dentro del suelo del terreno vecino. Estos anclajes invaden el subsuelo colindante a la obra, tan igual como las calzaduras, y podrán ser removidos sin ningún inconveniente cuando se realice una excavación profunda para la construcción de una obra similar. La remoción de estos cables es mucho más sencilla que remover el concreto que se emplea para el sistema de calzaduras.

A continuación se ilustra el proceso de ejecución de un muro anclado.



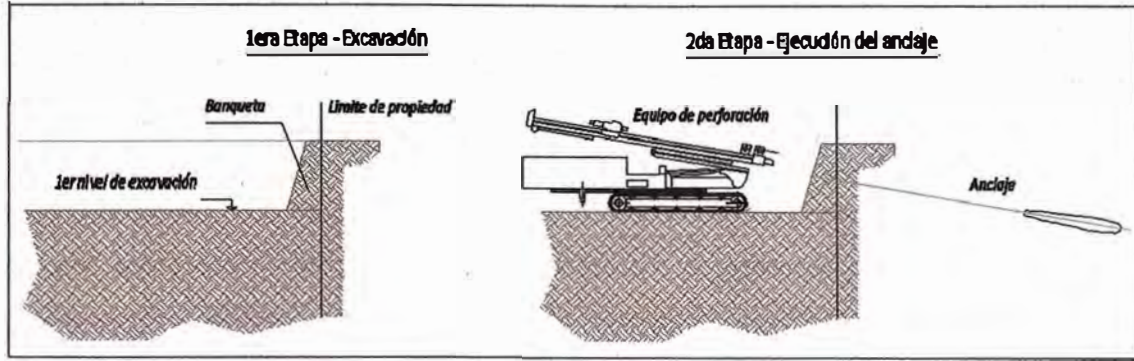


Figura 74 - Secuencia de excavación y ejecución del anclaje

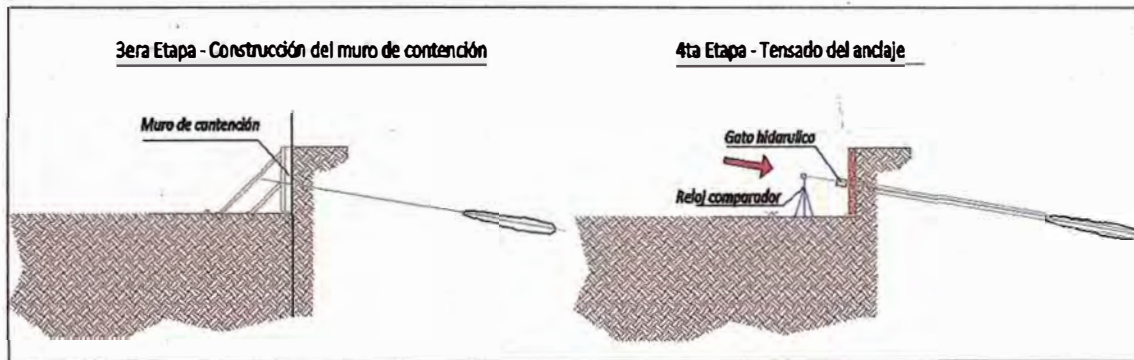


Figura 75 - Secuencia de construcción del muro y tensado del anclaje

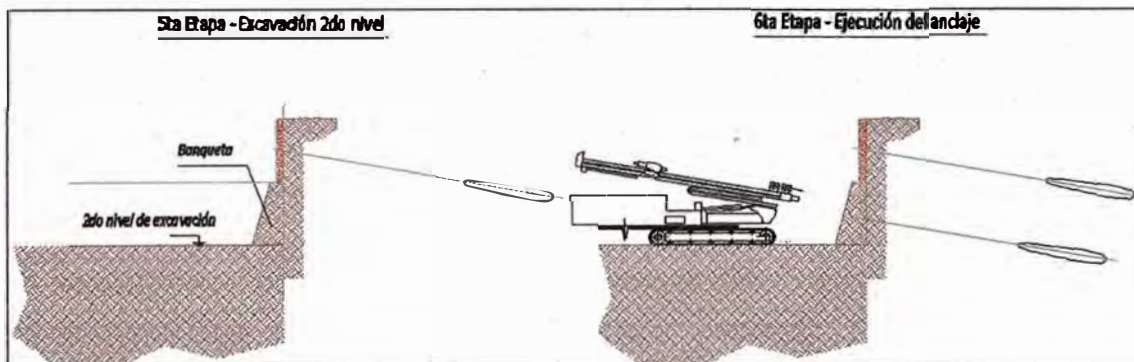


Figura 76 - Secuencia de excavación y ejecución del anclaje del segundo nivel

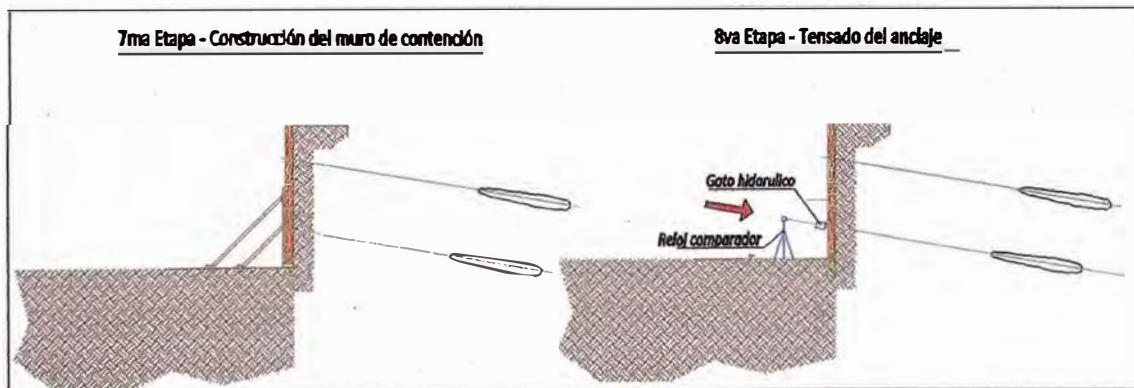


Figura 77 - Secuencia de construcción del muro y tensado del anclaje

## 5.2. Excavación del terreno

El proceso se da inicio con la excavación de un primer nivel, para dejar una plataforma para que los equipos de perforación puedan realizar los trabajos de instalación de anclajes. La altura de la excavación para el primer nivel de anclajes deberá coincidir con la altura del apanelado de los muros, el cual deberá estar diseñado a una altura donde los equipos de perforación sean capaces de alcanzar sin dificultad. Se deberá dejar una banqueta como se ilustra en la Figura N° 78, en el perímetro del terreno excavado, para garantizar la estabilidad del mismo mientras duren los trabajos de ejecución de anclaje y construcción del muro. Estas banquetas serán retiradas por tramos para la posterior ejecución de los muros de contención.



Figura 78 - Banquetas para soporte de muro anclado

La excavación se puede realizar mediante excavadoras o cargadores frontales, de tal forma que permita el retiro del material excavado. El tamaño y las características de los equipos de excavación deberán estar de acuerdo al tamaño y dimensiones del terreno, pudiendo utilizar excavadoras de orugas, sobre neumáticos, retroexcavadoras o cargadores frontales, como se muestra en la Figura N° 79, donde se ilustra el empleo de una excavadora de orugas.

Es muy importante seleccionar el método de excavación para no tener problemas posteriores con las secuencias constructivas. En terrenos pequeños, con no más de 40m por frente se recomienda no trabajar con rampa para la eliminación del suelo excavado a más de 2 niveles de excavación, ya que el movimiento de la rampa en cada nivel de excavación para poder realizar los muros en la totalidad del perímetro de la excavación generará tiempos muertos



para los equipos, aumento de tiempo en la duración de los trabajos, y que se verá reflejado en un aumento en el costo del proyecto.



**Figura 79 - Excavación del segundo nivel mediante excavadora de orugas**

En proyectos con más de 9m de profundidad de excavación (3 niveles), en donde no sea factible eliminar la rampa de acceso mediante un solo equipo excavador desde el nivel 0.00 (ya que el alcance máximo de una retroexcavadora (CAT 320) es de 9m), se deberá considerar 2 equipos retroexcavadores para la eliminación y trabajar en forma escalonada, como se muestra en la Figura N° 80. Finalmente al término de los trabajos, el equipo excavador que se ubique en la posición inferior deberá ser desmontado y retirado mediante una grúa de apoyo.



**Figura 80 - Empleo de 2 excavadoras, sistema escalonado.**

Se pueden optar por trabajar con fajas transportadoras, como se ilustra en las Figuras N° 81 y 82 o en su defecto mediante grúas de apoyo con bandejas para la eliminación del material, pero se deberá considerar las limitantes de estos sistemas las cuales se mencionan a continuación.

a) Faja transportadora

Este sistema de eliminación consiste en emplear una faja transportadora adosada a los muros de contención anclados, tal como se muestra en la Figura N° 81. Este sistema consiste en una faja móvil dentro de una guía accionada por un motor eléctrico y una bandeja de recepción el cual canaliza el suelo excavado a la faja. Esta bandeja deberá contar con una malla metálica el cual dejará pasar a través de él solo la bolonería que no supere las 15". Éste tamaño máximo de bolonería está asociado a la máxima capacidad de transporte de la faja en su ángulo máximo de trabajo el cual se encuentra en el orden del 30%.

Es importante considerar esta limitante para poder planificar de acuerdo al área del terreno, la cantidad de transiciones de 90° en la faja que será necesario instalar de tal forma de llegar la profundidad de excavación.

Otro factor importante que se deberá considerar es que la faja transportadora se debe adosar al muro de contención, limitando de esta forma los trabajos de instalación de anclajes y construcción del muro por debajo de la misma cuando se encuentra operando.

Se podrá eventualmente considerar separar la faja del muro para liberar esta restricción de trabajo de tal forma de construir una estructura de soporte de la faja (el cual también estará adosado al muro) lo suficientemente distanciado para poder realizar trabajos a lo largo de todo el perímetro. Esta alternativa reduce el espacio de maniobra de los equipos de movimiento de tierras dentro de la obra, es por ello que se deberá planificar los trabajos adecuadamente, siempre y cuando se cuente con los espacios suficientes y necesarios para su desenvolvimiento.

En cualquiera de los casos, adosada o no al muro de contención, es importante considerar que para realizar los cambios de sentido en la faja transportadora o reubicar la bandeja de canalización del suelo, será necesario detener las labores de eliminación.





Figura 81 - Extracción del material mediante faja transportadora



Figura 82 - Batea de recolección de inicio de faja

En obras muy pequeñas, como se ilustra en la Figura N° 83 donde estos sistemas no sean factibles de emplear se deberá analiza a detalle el impacto del movimiento de la rampa, considerando correctamente las secuencias constructivas y los tiempos de espera de los equipos para cada labor.



Figura 83 - Foto de un proyecto con 15m de ancho



### b) Grúa con bandejas de eliminación

Este sistema de eliminación considera el empleo de un grúa de apoyo, ya sea empleando una grúa pluma, una grúa reticulada o telescópica.

Además de la grúa, será necesario emplear una bandeja o balde metálico, de una capacidad menor a la capacidad máxima de levante de la grúa, dentro del radio de acción o del alcance que sea necesario izar la bandeja. En la Figura N° 84 se muestra una grúa telescópica de 35Ton de capacidad, izando una bandeja de eliminación de 3.0m<sup>3</sup> de capacidad



Figura 84 - Izaje de la bandeja de eliminación

Este sistema de eliminación normalmente se utiliza en proyectos con áreas muy pequeñas y en donde no se cuenta con los espacios suficientes para eliminar a través de una rampa de acceso. El trabajo de excavación será tan igual que los otros métodos de excavación, mediante una retroexcavadora o cargador frontal. En la Figura N° 85 se muestra una retroexcavadora realizando el trabajo de carguío del material de eliminación.

Finalmente, una vez realizado el izaje de la bandeja, la grúa deberá dirigir la carga hacia el volquete, el cual quedará a la espera del llenado de la tolva, tal

como se muestra en la Figura N° 86. Uno de los lados de bandeja de eliminación cuenta con una bisagra y un sistema de tranca manual, que permite trabar y destrabar el lado móvil. La apertura de la bandeja se da gracias al mismo empuje del material contenido.

Para utilizar este método de excavación será necesario considerar que se requiere un área por fuera del área de excavación para poder posicionar la grúa de apoyo. En proyectos, donde la obra colinda con avenidas o calles normalmente es inviable emplear este método debido a que los retiros de vía o veredas resultan insuficientes para posicionar la grúa de apoyo.



Figura 85 - Eliminación de material utilizando una retroexcavadora



Figura 86 - Apertura de la bandeja en el interior de la tolva del volquete

En cuanto a los aspectos de seguridad que será necesario considerar en relación a la etapa de excavación se indica lo siguiente:

- Es necesario realizar los check list de seguridad de los equipos excavadores, cargadores y volquetes antes de iniciar cualquier actividad.
- Es necesario implementar una o varias personas que cumplan la función de direccionar, guiar y/o advertir los movimientos de los equipos o maquinarias de excavación y volquetes en la obra. La cantidad de personas necesarias dependerá de la cantidad de equipos operando al mismo tiempo y de los espacios o accesos disponibles de circulación.
- Es necesario delimitar la zona de tránsito de los vehículos y personas dentro de la obra, así como las áreas de trabajo de cada equipo o maquinaria, con la finalidad de salvaguardar a los trabajadores que estén realizando labores durante la operación de los equipos (por ejemplo: el topógrafo, ayudantes de topografía, capataces, entre otros). La delimitación se podrá llevar a cabo mediante barreras físicas (barandas, cercos de madera o metálicos, etc.) o barreras visuales (conos de seguridad, cintas de seguridad, etc.) que impida el acceso o alerte al personal, o en todo caso, emplear elementos visuales que identifiquen y sectoricen cada zona de trabajo.
- En el caso de emplear rampas de acceso para la eliminación del material excavado, se debe considerar que éstas no superen pendientes mayores a 14%. Además, se deberá mantener los anchos mínimos en rectas y en curvas de las rutas de tránsito de los volquetes para garantizar que éstos puedan maniobrar con facilidad, evitando riegos de volteo y derrape en dichas zonas.
- En el caso de emplear fajas transportadoras y bandejas de eliminación, se deberá tener especial cuidado en no superponer actividades. Esto significa que no se deberá permitir trabajar por debajo de la faja transportadora cuando éste esté operando, ni debajo de la bandeja de eliminación en caso se esté en suspensión con o sin el material excavado.
- Se debe delimitar los radios de acción de cada equipo o maquinaria, con la finalidad de evitar congestionar la zona de trabajo. De esta manera se podrá minimizar el riesgo de colisión o golpe de un equipo contra otros equipos.
- En terrenos muy pequeños, normalmente con frentes de obra inferiores a 15 m, es recomendable que el tren de trabajo no considere actividades en paralelo. Esto significa que se deberá culminar los trabajos de excavación masiva antes de dar inicio a otras actividades.
- En el caso de obras con frentes de obra mayores a 15 m, se puede considerar trabajar en paralelo las actividades de excavación y eliminación de

material con otras actividades, siempre y cuando se respeten las distancias mínimas entre cada frente de trabajo.

- El orden y la limpieza es esencial para garantizar un trabajo ordenado y minimizar los riesgos asociados a estas actividades.

### **5.3. Secuencia constructiva del anclaje.**

Las actividades de esta etapa comprenden la perforación sobre el suelo, la habilitación e instalación del anclaje y la inyección de la lechada de cemento. A continuación se detallan estas actividades

#### **5.3.1. Perforación**

Luego de realizar la excavación del primer nivel (sótano) es necesario replantear los puntos de perforación sobre las banquetas, de tal forma de ubicar los puntos horizontal y verticalmente, como se ilustra en las Figuras N° 87 a la 90. Es importante considerar que estos puntos de perforación deberán ser ubicados en la banqueta siguiendo el ángulo de inclinación del anclaje, partiendo de la posición del anclaje sobre el muro de contención, de tal forma que el equipo se pueda posicionar sobre éste punto y dejar instalado el anclaje en la posición correcta.

Los preparativos de la perforación se inician con la selección del equipo y herramienta de perforación adecuada. Los equipos serán seleccionados de acuerdo a su tamaño y potencia, de acuerdo a los espacios disponibles en obra y las longitudes de excavación para la instalación de los anclajes respectivamente.

Los equipos más empleados en el ámbito local se describen en el Capítulo 4, los cuales son equipos muy versátiles y pueden ser utilizados en terrenos con áreas muy pequeñas. Estos equipos podrán ser utilizados en obras donde se asegure como mínimo un ancho de 8m de plataforma de trabajo.

En relación de las herramientas de perforación, tal como se describe a detalle en el capítulo 4 se podrá considerar emplear herramientas con tuberías de revestimiento recuperables para grava arenosa o arenas, donde existe la posibilidad de derrumbe de las paredes de la perforación; para rocas o suelo cohesivos como las arcillas se podrá emplear el tricono o sistemas de perforación convencionales. En suelos mixtos se podrán emplear una combinación de ellos.



Los diámetros seleccionados para el empleo de herramientas de perforación dependerán del diámetro del anclaje a instalar y la disponibilidad de equipos.

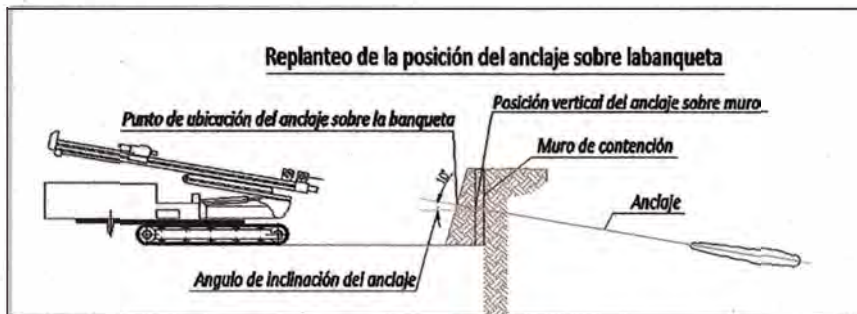


Figura 87 - Replanteo de la posición del anclaje sobre la banqueta.

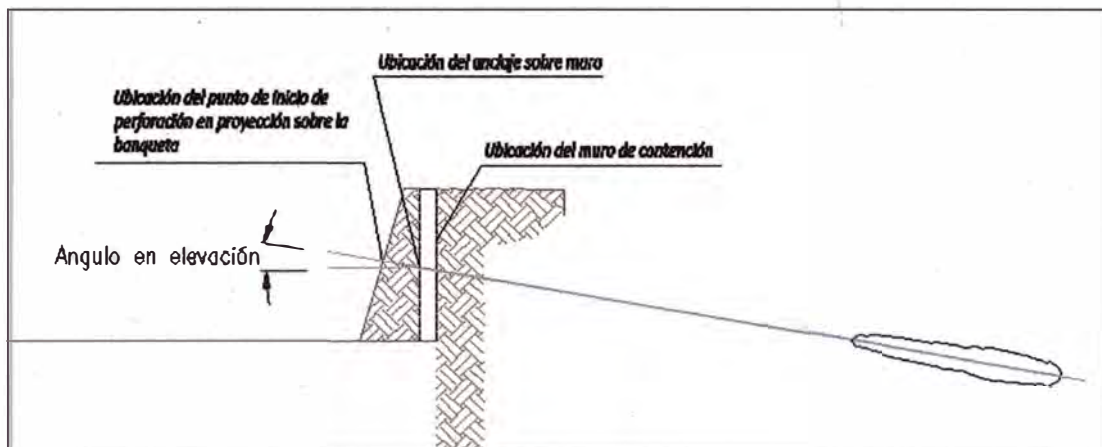


Figura 88 - Ángulo en elevación del anclaje sobre la banqueta

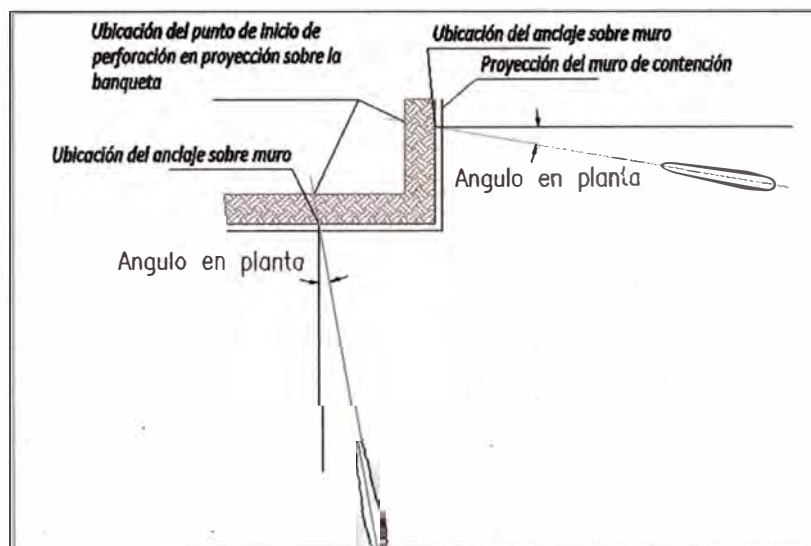


Figura 89 - Replanteo en planta de la posición del anclaje sobre la banqueta.



**Figura 90 - Replanteo de punto de perforación sobre las banquetas**

Un factor importante para la selección de los diámetros de perforación, es el costo y los rendimientos de las herramientas, si bien es cierto que una herramienta de perforación de mayor diámetro puede tener mejor rendimiento (ml perforados x hora), el costo de ella conjuntamente con el costo de los accesorios complementarios y/o mantenimiento puede superar el beneficio del incremento de los rendimientos de perforación. Es importante realizar el análisis para determinar el diámetro de perforación de acuerdo al análisis de costos realizado.

Otro aspecto a considerar al seleccionar las herramientas adecuadas, es que se deberá considerar generar la menor perturbación posible en el suelo, especialmente en perforaciones sin entubar. Esta indicación se sustenta debido a las siguientes razones:

Prevenir la el derrumbamiento de las paredes en la etapa de perforación y la colocación del anclaje.

Minimizar la pérdida de compacidad en el suelo circundante a la perforación especialmente en suelos granulares y al ablandamiento de las paredes de perforación especialmente en suelos cohesivos y rocas fracturadas.

En todo caso, una regla práctica para determinar el diámetro de perforación se podrá usar la siguiente relación

$$0.4 < \text{diámetro del anclaje} / \text{diámetro de perforación} < 0.6$$

En todos los casos se deberá garantizar un recubrimiento diametral mínimo de 10mm.

La perforación se dará inicio luego de posicionar el equipo en la ubicación deseada, alineando ésta con la herramienta de perforación seleccionada sobre el punto replanteado y verificando mediante un goniómetro<sup>20</sup>. La herramienta deberá estar equipada con el bit o punta de perforación, el martillo de fondo y la tubería de revestimiento temporal o recuperable, así como se muestra en la siguiente ilustración.



Figura 91 - Perforación sobre pase en muro armado

Se continúa con la perforación colocando las tuberías y barras que sean necesarias para lograr la profundidad o longitud de perforación deseada, así como se muestra en la Figura N° 92. Las medidas de las barras y tuberías de perforación son de longitud variable, por lo que se deberá llevarse un control estricto de las medidas de éstas, mientras se van instalando. Ésta medida de control nos permitirá conocer la longitud final de la excavación.

Las barras y tuberías de revestimiento son elementos con roscas cónicas en ambos extremos, motivo por el cual se utilizar una rosca hembra y una rosca macho. El sentido de ajuste de las roscas en la barra y en la tubería es de sentidos opuesto lo cual permite se pueda acoplar o desacoplar las barras o las tuberías independientemente de ellas, dando así las facilidades para la extracción de barras para la etapa de inyección del anclaje.

<sup>20</sup> Un goniómetro es un instrumento de medición con forma de semicírculo o círculo graduado en 180° o 360°, utilizado para medir o construir ángulos. El instrumento puede ser analógico o digital.





**Figura 92 - Colocación de tuberías de perforación**

Es necesario e importante mencionar que la perforación se deberá realizar lentamente permitiendo que la broca de perforación (ya sea mediante escariador no concéntrico o sistema de perforación concéntrico) permita generar el diámetro de perforación para que la tubería de revestimiento puede ingresar sin mayor dificultad, caso contrario se corre el riesgo que la tubería ingrese muy justa y apretada, dificultando las labores de extracción de la camisa en la etapa de inyección del anclaje.

Una vez terminada la perforación se deberá realizar la limpieza de la misma, para ello será necesario realizar un barrido sin percusión del martillo de fondo (solo mediante la inyección dentro del pozo de aire y agua) para eliminar el detritus generado y remanente dentro del pozo de perforación.

Una vez realizado la limpieza del pozo de perforación se procede a retirar las barras de perforación y martillo de fondo DTH.

### 5.3.2. Habilitación de los cables tensores.

Para habilitar los anclajes, se pueden acondicionar una banco de armado en obra o en su defecto prepararlos en un local externo a la obra, generando así un mejor control de calidad y un mejor nivel de productividad. Luego los anclajes son transportados en camiones plataformas a sus ubicaciones definitivas.

Durante la fabricación o preparación de los anclajes y su almacenamiento, los cables y sus componentes deberán mantenerse limpios de cualquier agente externo, libres de corrosión y daños mecánicos. Los separadores y todos sus



elementos deberán ser amarrados firmemente para resistir a la manipulación, transporte e instalación final dentro del pozo de perforación

Los anclajes pueden ser enrollados para facilitar su transporte, teniendo el cuidado necesario para garantizar que los separadores, el PVC de recubrimiento, los amarres no se dañen con la manipulación del mismo.

En caso se decida preparar los anclajes en obra, será necesario contar con el área de trabajo suficiente, normalmente un área con longitud mayor a la longitud del anclaje a preparar y de un ancho que permita a una o varias personas realizar cómodamente los amarres y las labores de armado. En obras de edificaciones con pocos espacios disponibles, esta labor resulta muy difícil de ejecutar en la práctica.

Posterior al armado o transporte de anclajes es necesario verificar la longitud del anclaje, cantidad de cables o tendones por anclajes, longitud libre y la longitud del bulbo. Finalmente se introduce el anclaje en el pozo recubierto por la tubería de revestimiento, así como se muestra en la Figura N° 93, quedando éste en su posición final previo a la inyección del mismo.



**Figura 93 - Inserción del tensor o anclaje**

### 5.3.3. Inyección

El operario encargado de la inyección deberá preparar la mezcla agua cemento en la batea de mezclado del equipo de inyección, el cual permite mezclar de una forma uniforme y por tandas, colocará el agua necesaria mediante el uso de

baldes o recipientes con medidas y adicionará la cantidad de cemento calculada de acuerdo a la relación agua-cemento especificada por el diseño respectivo. Enseguida cada tanda así preparada se trasvasija a la batea de almacenaje, y una vez llenado dicha batea se procede con la inyección del anclaje. Se deberá preparar la mezcla en mezcladoras disponibles para ese fin el cual garantice una consistencia uniforme en un lapso de tiempo corto, normalmente menores a 5min.

La dosificación agua cemento de diseño normalmente está en los 0.4 y 0.45. Se puede usar aditivos especiales para acelerar el fraguado de la mezcla, mejorar su fluidez o viscosidad, o mejorar la resistencia final de la mezcla.

La manguera de inyección, que es una manguera de PVC reforzado con nylon o malla metálica para resistir al menos 40 bares de presión, y cubierta de un revestimiento que evita el desgaste rápido en las labores de instalación y traslado por la obra, se conecta a las tuberías de perforación mediante un cabezal de inyección el cual tiene un conector adecuado en donde se acopla la manguera de inyección.

Una vez instalado la manguera se procede a dar la orden para iniciar el proceso de inyección, así como se muestra en la Figura N° 94.



Figura 94 - Proceso de inyección del anclaje

Mientras se va realizando con la inyección del anclaje, se van retirando simultáneamente las tuberías recuperables. De esta forma se garantiza en todo momento el interior de la perforación se encuentra llena con lechada, garantizando así cualquier tipo de derrumbes durante el proceso de extracción de las tuberías.

Cuando se llega a retirar la cantidad suficiente de tubería de tal forma que se libera la zona del bulbo de las tuberías de recubrimiento, se deberá inyectar la lechada con una presión mínima de 20 bares, la cual garantiza que la zona de bulbo y el anclaje ha sido totalmente cubierta por la lechada. Posterior a la inyección a presión bastará con introducir la lechada de cemento por gravedad, asegurando que exista retomo<sup>21</sup> de lechada por la boca de las tuberías recuperables.

Finalmente se retira la escarpa o zapata, la cual es la primera tubería insertada, y se verifica la posición del anclaje final. Es importante ir revisando la posición del anclaje mientras se va retirando las tuberías, ya que es posible que el anclaje se trabe con la primera camisa y ésta al ser retirada, arrastre el anclaje consigo.

Para verificar la posición del anclaje, será necesario restar la distancia que del extremo de la tubería en relación al muro de contención a la distancia del extremo del anclaje al extremo de la tubería. Para poder medir la distancia del anclaje en relación al extremo de la tubería se podrá introducir una barra metálica o de madera que ingrese por dentro la tubería hasta que tope sobre el anclaje.

En cuanto a los aspectos de seguridad que será necesario considerar en relación a la etapa de perforación de anclajes se indica lo siguiente:

- Es necesario realizar el check list de seguridad de los equipos y herramientas de perforación, el cual incluye la perforadora, el compresor y la inyectora verificando de esta manera que dichos equipos se encuentren en condiciones óptimas antes de iniciar cualquier actividad.
- Durante la movilización del equipo a través de la obra, un ayudante deberá guiar al operador del equipo, de tal forma de ayudar en la conducción de la perforadora hasta su destino final, teniendo especial cuidado en los puntos ciegos del operador.
- Una vez posicionado el equipo de perforación, el ayudante deberá guiar al operador en la alineación de la viga de perforación del equipo sobre el punto de perforación, así como cualquier movimiento que el equipo realice cuando

<sup>21</sup> Se define como retorno cuando se puede apreciar que la lechada de cemento a cubierto por completo el pozo de perforación y al ingresar una mayor cantidad ésta sale por al tubería de perforación al final del pozo.

el personal se encuentre cerca al equipo de perforación, evitando así el riesgo de una mala maniobra que pueda lesionar dicho personal.

- Es necesario nivelar y estabilizar el equipo de perforación mediante el empleo de los gatos de apoyo del equipo antes de realizar cualquier trabajo de perforación, con la finalidad de evitar el riesgo que el equipo pierda estabilidad durante la perforación. Así mismo verificar todas las conexiones de las mangueras de aire que provienen del compresor.
- Durante la perforación a través del terreno se genera el detritu, el cual es el material residual producto de la perforación. Este material es expulsado por medio del flujo de aire que se inyecta al sistema de perforación hacia el exterior del tubo de perforación. Este material expulsado puede generar lesiones en las partes blandas del cuerpo como lo son los ojos, es por ello que será necesario que todos los trabajadores cuenten con lentes de seguridad. Adicionalmente, se deberá considerar una malla protectora que impida el impacto de este material contra otros equipos y personal que estén fuera de área delimitada para estas labores.
- Se debe mantener el orden y la limpieza en la zona de trabajo, para evitar los tropiezos del personal durante el transporte de las camisas y barras de perforación durante los trabajos de perforación.
- Se deberá verificar que el andamio y su rampa para el acceso del personal hacia la viga de perforación del equipo sea estable y seguro, considerando que el personal deberá realizar labores de instalación de barras y tuberías de perforación sobre dicha plataforma.
- Durante la instalación de barras y tuberías de perforación o en cualquier actividad que el personal realice sobre el equipo perforador, se deberá mantener el equipo sin movimiento alguno, para ello será necesario que el operador active la parada de emergencia del equipo garantizando su inamovilidad.
- El operador de la inyectora deberá tener en todo momento la visión permanente de la zona de trabajo. En caso esto último no sea posible, se deberá considerar que un ayudante cumpla la función de guía del operador.
- Se deberá considerar que el lugar de almacenamiento de los anclajes sea el adecuado y se encuentre lo más cercano a la zona de trabajo posible, de tal forma de reducir la distancia de transporte de los anclajes a su instalación final y reducir el riesgo de tropiezo y lesiones de caídas.



#### 5.4. Ejecución del muro de contención

Luego de terminar con la perforación e inyección del anclaje, se deberá realizar el perfilado del terreno, hasta llegar al aplome del muro. La secuencia constructiva es de forma convencional como lo es la ejecución de un muro de contención vaciado contra terreno, pero se deberá tener en cuenta los siguientes aspectos que se mencionan a continuación:

El perfilado inicial lo puede realizar un equipo excavador pequeño, una retroexcavadora u otro similar, teniendo un cuidado especial en no dañar el anclaje expuesto en la banqueta. Dependiendo del terreno el perfilado del terreno mediante maquinaria se podría realizar hasta un máximo de 20 cm al nivel del aplome final del perfilado. Estos 20cm faltantes se podrán realizar mediante trabajos manuales, así como se muestra en la Figura N° 95. En terrenos menos cohesivos puede ser mayor la cantidad que se deberá perfilar manualmente.

Considerando que será necesario dejar una longitud de acero para el traslape con el acero de los apanalados contiguos (horizontal y verticalmente), se podrá aumentar o disminuir la longitud del perfilado. En caso de traslapes verticales, se deberá excavar una zanja de tal forma que se pueda colocar el acero para luego ser rellenado de arena u otro similar de tal forma que sirva de aislante y apoyo para el vaciado del concreto y que finalmente garantice una limpieza rápida del acero de refuerzo cuando se trabaje el muro inferior. Para proteger el acero del contacto con el suelo se podrá revestir el acero por fuera de la zona de vaciado con polietileno, así como se muestra en la Figura N° 96.



Figura 95 - Perfilado manual del terreno y excavación de zanja

A continuación se procede a instalar el acero de refuerzo, como se muestra en la Figura N° 97, con especial cuidado en dejar las varillas en longitud de acuerdo a los traslapes indicados en los planos de estructuras. No se deberá re-doblar del acero como lo señala la normatividad vigente.



Figura 96 - Protección del acero con polietileno



Figura 97 - Habilitación de acero de refuerzo

Antes de realizar el encofrado del muro se deberá proteger el anclaje con un tubo de PVC, el cual normalmente es de 4". En la Figura N° 98 se muestra un muro terminado con la tubería de PVC de protección del anclaje. El diámetro de la tubería no estará definido por el grosor del cable si no por el tamaño de la placa de tensado, de tal forma que el anclaje no quede atrapado y que el pase en el muro sea lo suficientemente dimensionado como para que la placa no se doble o sufra algún daño en el momento del tensado del anclaje.



**Figura 98 - Tubo de PVC 4" para pase sobre muro de concreto armado**

Para el caso de losas y vigas que posteriormente se tengan que unir con el muro anclado, se deberá dejar cajuelas o elementos que generen cavidades en el muro en el momento del vaciado para su posterior retiro, tales como tecnopor (polietileno expandido) u otro similar. Estos elementos deberán ser instalados antes de realizar el encofrado del muro. En la siguiente figura se muestra el tecnopor que fue instalado antes del encofrado y vaciado del muro, para generar la cajuela sobre la que finalmente se apoyará la losa.



**Figura 99 - Tecnoport para cajuelas en muro**

El proceso continua con el encofrado del muro, empleando para ello paneles metálicos o de madera. Los paneles deberán estar apuntalados contra el terreno, bloques de concreto u otro elemento como listones o cuarterones de madera para que resista las fuerzas de empuje del concreto sobre los paneles en el momento del vaciado. En las Figuras N° 101 y 102 se puede apreciar los trabajos de encofrado para el vaciado del muro anclado.





**Figura 100 - Apuntalamiento contra terreno del encofrado**



**Figura 101 - Encofrado y apuntalamiento de muro alternado**

Una vez finalizado el encofrado de los muros se podrá realizar el vaciado del concreto, ya sea mediante bombas de concreto o por descarga directa del mixer, cuando sea posible ubicar al mixer por encima del muro de contención, tal como se muestra en la Figura N° 102. Durante el vaciado, es importante vibrar el concreto para no generar cavidades o cangrejas, mediante vibradores y a su vez controlar la verticalidad del muro. Estos controles se pueden realizar mediante referencias externas y/o plomadas instaladas para este fin. Para vaciar el concreto en muros de contención a partir del segundo sótano, se deberá considerar preparar chutes de tal forma de canalizar el concreto por debajo del muro existente (muro anclado del nivel superior) y además, garantizar el contacto en todo su espesor con el muro superior, mediante vibradores.

Es importante mencionar que se deberá realizar la limpieza del concreto contaminado que se ubica debajo del muro de contención, ya que éste ha estado en contacto con el suelo. Se podrá realizar este trabajo mediante equipos manuales y cuando se realice el perfilado del muro inferior.





**Figura 102 - Vaciado del muro**

Otro aspecto muy importante es el sobreconsumo de concreto. Se deberá tener mucho cuidado al momento de realizar la medición de la cantidad del concreto que será necesario suministrar. En un suelo gravoso como la grava de Lima, el sobreconsumo puede estar en el orden del 20% - 25%.

Una vez concluido el vaciado, y una vez que el concreto obtenga la resistencia de diseño, se podrá desencofrar el muro. En la siguiente figura, se muestra los trabajos de desencofrado de los muros posterior al vaciado.



**Figura 103 - Desencofrado del muro**

Para el caso de los muros de contención del primer nivel, será necesario apuntalar el muro posterior al desencofrado. Este apuntalamiento sobre el muro es necesario en caso se generen fuerzas de volteo sobre el mismo, tal como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 104 - Apuntalamiento del muro**

En cuanto a los aspectos de seguridad que será necesario considerar en relación a la etapa de construcción del muro de contención se indica lo siguiente:

- Durante el perfilado manual del terreno o banqueteta, es necesario que el personal se encuentre unido a una línea de vida por medio de una soga. Esta medida, y en caso de un derrumbe del terreno, ayudará a ubicar al personal de manera rápida, removiendo de esta manera, el material derrumbado en la dirección del personal atrapado.
- Durante la colocación de la armadura del muro de contención, el personal deberá asegurar la armadura a un punto fijo, de tal forma de evitar que la armadura se voltee.
- Durante la actividad del vaciado del concreto, se deberá asegurar y verificar que los andamios en donde el personal se posicionará para sostener la manguera de bombeo del concreto estén correctamente arriostradas. En todo momento se deberá mantener las barandas en dichas plataformas, evitando así caídas a nivel y a desnivel.
- Inmediatamente después de desencofrar el muro de contención, se deberá realizar el apuntalamiento de muro. Estos puntales no deberán ser removidos hasta el tensado de los anclajes.
- Es importante que todas las barras de acero corrugado que queden expuestas en un extremo, deberán contar con protectores plásticos con la finalidad de evitar que el personal que transite cerca de la zona pueda sufrir algún daño.
- Siempre y en todo momento mantener el área de trabajo libre de escombros, puntales de madera o metálicos, clavos, alambres, paneles de encofrado,

entre otros, para facilitar el tránsito del personal evitando así, el riesgo de caídas o tropiezos.

- En caso de emplear equipos de apoyo, como retroexcavadoras o mini cargadores para transportar materiales y/o herramientas, una persona deberá cumplir la función de guiar al equipo cuando se esté trasladando de un punto a otro, evitando así atropellos y golpes ocasionados por dichos equipos.

### 5.5. Tensado y destensado del anclaje.

Cuando el concreto ha obtenido la resistencia de diseño del proyecto, se podrá realizar el tensado del anclaje. Para tal fin, será necesario emplear un gato hidráulico y una bomba hidráulica. Los detalles del equipo de tensado se indican en el Capítulo 4. Antes de dar inicio a la instalación de los equipos de tensado será necesario limpiar cualquier resto de concreto o lechada de cemento que ha cubierto el anclaje como producto de la inyección del anclaje o vaciado del muro y limpiar el área del muro en donde se apoyará la placa de tensado. En la siguiente figura se muestra dos operarios colocando la placa de apoyo y la silla de tensado.



Figura 105 - Instalación de la placa y silla de apoyo para el tensado

Posterior a la limpieza, se coloca el gato de tensado y se instalan las mangueras hacia la bomba hidráulica. Finalmente se aplica la fuerza tensora de diseño según el proyecto al cable y se instalan las cuñas de sujeción en el cabezal del anclaje. En la siguiente figura se muestra el gato de tensado y el proceso de tensado del anclaje.





**Figura 106 - Tensado del anclaje**

Una vez tensado los anclajes del primer nivel o sótano se repite todos los procesos descritos hasta el último nivel de los muros anclados, llegando así al nivel de excavación donde se realizarán posteriormente los trabajos para la construcción de la cimentación del proyecto. En la siguiente figura, se muestra una obra en donde se ha culminado con los muros anclados y se ha iniciado con los trabajos de construcción de cimentación de la edificación.



**Figura 107 - Nivel de cimentación del proyecto**

Una vez finalizada la cimentación, se continúa con la ejecución de las columnas y losas de los sótanos, así como se muestra en la Figura N° 108. Cuando se ha culminado con todas las losas de los sótanos y éstas obtienen su resistencia de diseño según el proyecto, se podrá realizar los destensados de los anclajes.



Para destensar los anclajes se emplea un equipo oxicorte, así como se muestra en la Figura N° 109.

En el proceso de destensado, el cual consiste en calentar las cuñas, dañan permanentemente estas últimas, haciendo imposible su reutilización. La placa de apoyo, el cual no sufre ningún daño, se podrá reutilizar siempre y cuando no haya sufrido ningún daño visible en el momento del tensado del anclaje.



Figura 108 - Construcción de las losas de los sótanos del proyecto.

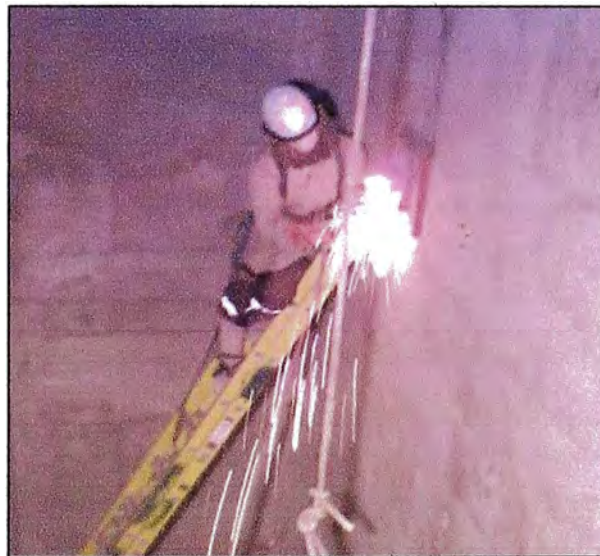


Figura 109 - Destensado del anclaje.

En cuanto a los aspectos de seguridad que será necesario considerar en relación a la etapa de tensado y destensado de anclajes se indica lo siguiente:

- Se debe considerar todas las medidas de seguridad para trabajos en caliente, como son: mantener cercano a la zona de trabajo un extintor y delimitar la zona de trabajo y el uso de los equipos de protección personal (EPP) para

estos trabajos, que incluyen las casacas, pantalones, escarpines de material anti-flama y caretas para soldadura.

- Realizar el check list del equipo oxicorte, considerando que este equipo deberá contar con las válvulas anti-retorno de flama.
- Mantener el orden y la limpieza en la zona de trabajo para evitar caídas y tropiezos.

#### **5.6. Tarrajeo del muro.**

Una vez destensado el anclaje, se concluye los trabajos con el resane del muro, el cual consiste en rellenar y tarrajar el orificio o cavidad sobre el muro de contención.

## **CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. CONCLUSIONES**

El muro anclado ofrece una alternativa de estabilización mucho más rápida y segura que el sistema convencional de calzaduras, por ser un sistema con procesos más industrializados y ejecutados por equipos y personal especializado. Esta industrialización de los procesos permite llevar un mejor control en relación a la calidad y seguridad, y además permite buscar mejoras continuas dentro del mismo proceso para mejorar los plazos de ejecución de la excavación para sótanos.

Si bien es cierto, que en el mercado local e internacional podemos encontrar varias empresas que ofrecen los servicios de diseño de los anclajes y prestan los servicios de instalación de los mismos, respetando la normatividad internacional relacionada, es muy importante para Ingeniero Civil, responsable de la obra, conocer y estar familiarizado con todos los procesos dentro de la ejecución del muro anclado, para tomar las mejores decisiones en el beneficio del proyecto.

A continuación se muestran las conclusiones del presente informe:

1. El sistema de muro anclado es un sistema flexible el cual puede ser adaptado para diferentes tipos de proyectos. Si bien es cierto que la secuencia constructiva del muro anclado es la misma para proyectos sobre distintos tipos de suelo, con diferentes formas y áreas y con diferentes profundidades de excavación, se debe considerar que cada proyecto tiene sus particularidades que deberán ser estudiadas a detalle. Dentro de estas particularidades, y sin limitarse a ello, pueden ser la forma irregular de los terrenos (normalmente en esquinas, terrenos con forma de rombos, triangulo o terrenos irregulares); las dimensiones de los terrenos, las interferencias subterráneas (como pueden ser cisternas, sótanos de edificios contiguos, redes de servicios o estructuras enterradas), los accesos a la obra y desniveles importantes en el terreno.

2. El Ingeniero Civil debe estar completamente familiarizado con los procedimientos y métodos constructivos utilizados en las excavaciones

profundas en edificaciones, así como aspectos de seguridad relacionados, con el fin de evitar errores que pueden ser desastrosos. Es muy importante revisar metodologías adoptadas por otros países, para poder así, homogenizar resultados y/o opiniones sobre el tema.

3. Normalmente, dentro de los trabajos de muros anclados, es la contratista principal quien se encarga de la construcción del muro de contención y se subcontrata la ejecución de los anclajes a una empresa especialista. Bajo esta configuración de trabajo es muy importante la participación de ambas partes desde un inicio, desde el desarrollo de la ingeniería hasta su ejecución.

4. El muro anclado representa un sistema de estabilización de taludes mucho más seguro que el sistema de calzaduras, teniendo en cuenta que se reduce considerablemente el empleo de personal no calificado (peones) y el empleo de herramientas manuales (picos, lampas, barretas, etc.) y en contraparte, se emplean equipos y personal especializado. Los trabajos manuales incrementan el riesgo asociado a los trabajos de excavación para sótanos.

5. Debido al empleo de equipos especializados, como lo son las perforadoras, las fajas transportadoras, grúas plumas, etc. se generan posibilidades de mejora al proceso de ejecución del muro anclado, a diferencia de las calzaduras en donde en su mayor parte, se emplean herramientas manuales. Las nuevas mejoras tecnológicas aplicado a los equipos empleados en la ejecución de los muros anclados conllevan a que los trabajos se realicen cada vez con mayor seguridad, calidad y con mayor rapidez.



## **6.2. RECOMENDACIONES**

1. Todos los procesos dentro de este sistema de estabilización de taludes (muro anclado) pueden ser estudiados y mejorados. Si bien es cierto que en algunos procesos, la mejora que podemos lograr es mínima y no contribuye en gran medida al sistema global, como es el caso de mejoras en los equipos de perforación, o en el proceso de fabricación de los anclajes; en otros procesos, dependiendo del tipo de obra, pueden aportar grandes mejoras al resultado final de la obra.
  
2. En donde se podría seguir analizando y aportando mejoras al sistema del muro anclado, sería en:
  - a) Los procesos de excavación, en terrenos muy pequeños (normalmente menores a 400m<sup>2</sup>), ya que los métodos actuales de excavación masiva tienen muchas limitaciones, no son muy flexibles (requieren de áreas muy extensas para su empleo óptimo y no pueden ser adaptados para cualquier tipo de terreno).
  
  - b) En el sistema de apuntalamiento del encofrado para la construcción del muro de contención (encofrado a una sola cara). Las dificultades de las alternativas de apuntalamiento que actualmente se emplean son: la dificultad de movilizar y almacenar los bloques de concreto durante el proceso constructivo; la dificultad de retirar y reutilizar los soportes de madera donde se apoyaran los puntales del encofrado (los soportes de madera normalmente se entierran paralelo al muro de contención y se fijan al terreno mediante una mezcla suelo cemento); o el desorden y la reducción de espacios que se generan por el gran volumen de suelo que se requiere en caso de usar el mismo suelo excavado como contrafuerte de los puntales.
  
3. Revisar metodologías adoptadas y experiencia en trabajos similares de otros países, con la finalidad de homogenizar resultados y/o opiniones sobre el tema. ...



## **BIBLIOGRAFÍA**

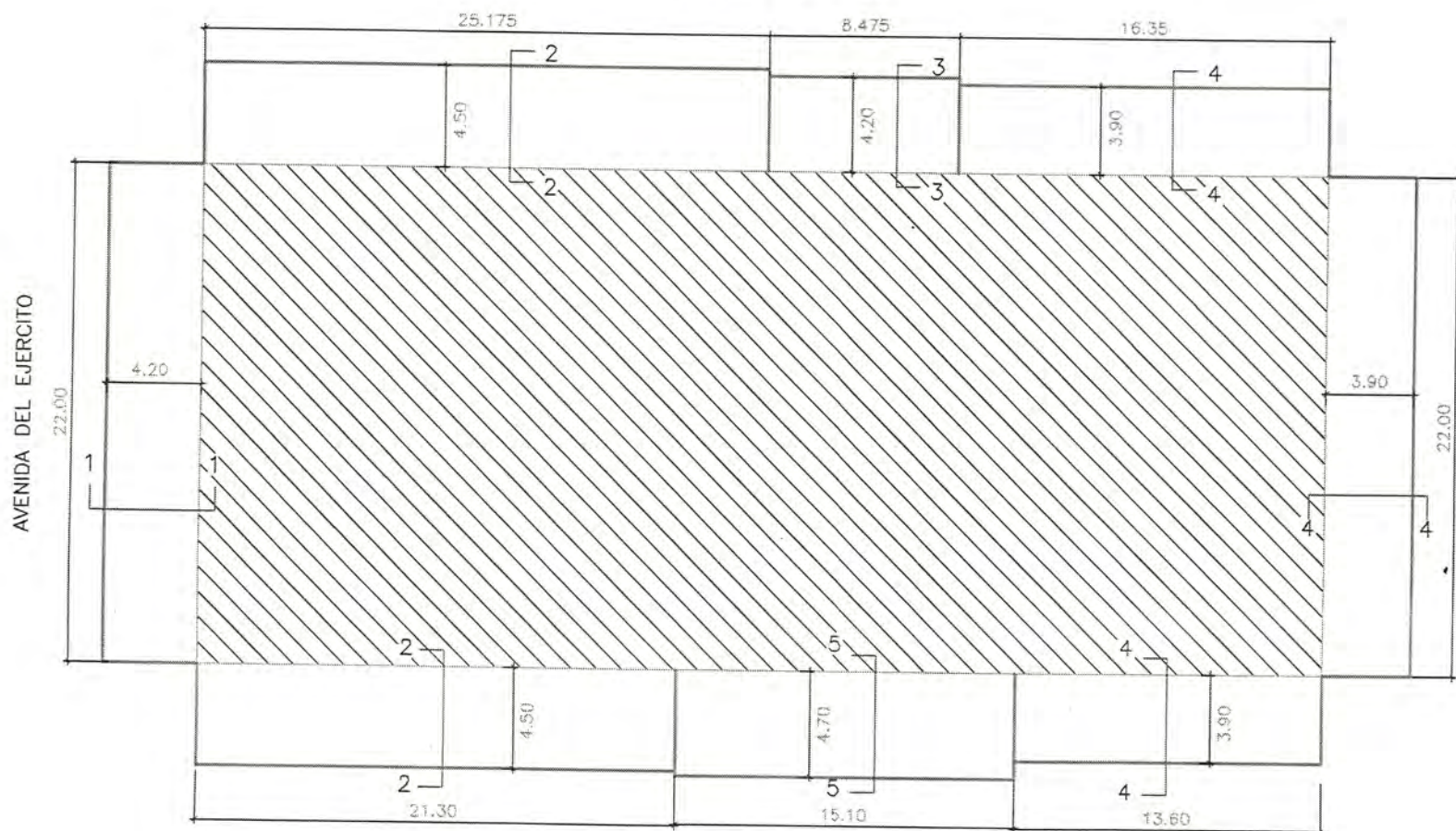
- Asociación española de normalización y certificación, *NORMA ESPAÑOLA UNE – EN 1537, Ejecución de trabajos geotécnicos especiales anclajes*. AENOR. España. 2001
- Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción. *Recomendaciones para el diseño, ejecución y control de anclajes en suelos y rocas*. CDT. Chile. 2001
- Dirección técnica de la dirección general de carreteras de España y AETESS. *Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carreteras*. Ministerio de fomento. España. 2001
- Deutsches Institut für Normung, *DIN 4125 - Ground anchorages Design, construction and testing*, Alemania, 1990.
- Post-Tensioning Institute committee, *Recommendations for prestressed rock and soil*, PTI. USA. Fourth Edition 2004.
- Sabatini P.J., Pass D. G., Bachus R.C.(Federal Highway Administration). *Geotechnical engineering circular N°4: Ground anchors and anchored system (FHWA-IF-99-015)*. US. 1999.
- Smolczyk, Ulrich. *Geotechnical Engineering hand book Vol 2: Procedures*. Ernst & Sohn, Alemania. 2003

## **ANEXOS**



**Anexo N°1**

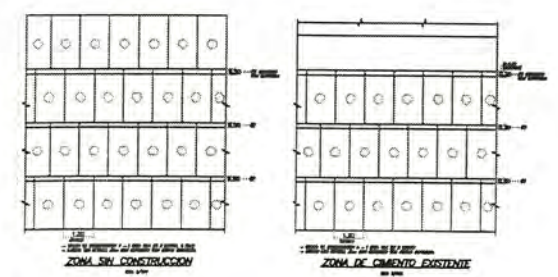
INMUEBLE DE 1 PISO



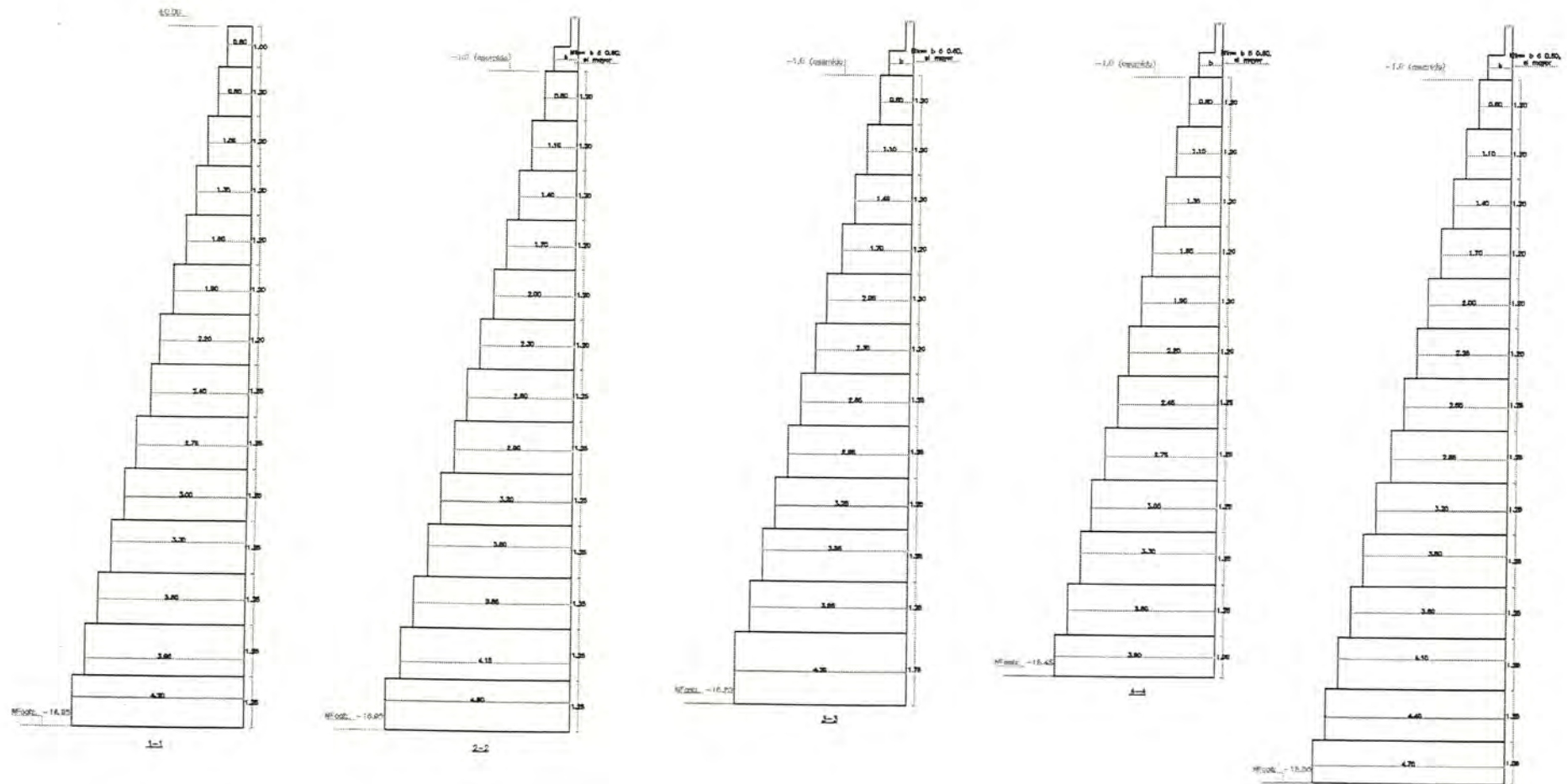
1. EL DISEÑO DE LAS CALZADAS DEBE SER EFECTUADO POR EL PLANIFICADOR EN UN PLAN DE FORMA GENERAL Y DEBE SER APROBADO POR EL COMITÉ DE CALZADAS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, PARA LUEGO SER LEVANTADO EN LA FORMA DE PLAN DE CALZADA CON LAS DIMENSIONES Y LINEAS DE LEVANTO DE LA ZONA EXISTENTE DE ACUERDO A LOS REQUISITOS DE LA LEY DE CALZADAS Y DE LA LEY DE TRÁFICO Y TRANSPORTES.

2. EL PROCESO DE LEVANTAMIENTO DE LAS CALZADAS DEBE SER EFECTUADO POR EL PLANIFICADOR EN UN PLAN DE FORMA GENERAL Y DEBE SER APROBADO POR EL COMITÉ DE CALZADAS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, PARA LUEGO SER LEVANTADO EN LA FORMA DE PLAN DE CALZADA CON LAS DIMENSIONES Y LINEAS DE LEVANTO DE LA ZONA EXISTENTE DE ACUERDO A LOS REQUISITOS DE LA LEY DE CALZADAS Y DE LA LEY DE TRÁFICO Y TRANSPORTES.

3. LAS CALZADAS DEBE SER EFECTUADO POR EL PLANIFICADOR EN UN PLAN DE FORMA GENERAL Y DEBE SER APROBADO POR EL COMITÉ DE CALZADAS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, PARA LUEGO SER LEVANTADO EN LA FORMA DE PLAN DE CALZADA CON LAS DIMENSIONES Y LINEAS DE LEVANTO DE LA ZONA EXISTENTE DE ACUERDO A LOS REQUISITOS DE LA LEY DE CALZADAS Y DE LA LEY DE TRÁFICO Y TRANSPORTES.



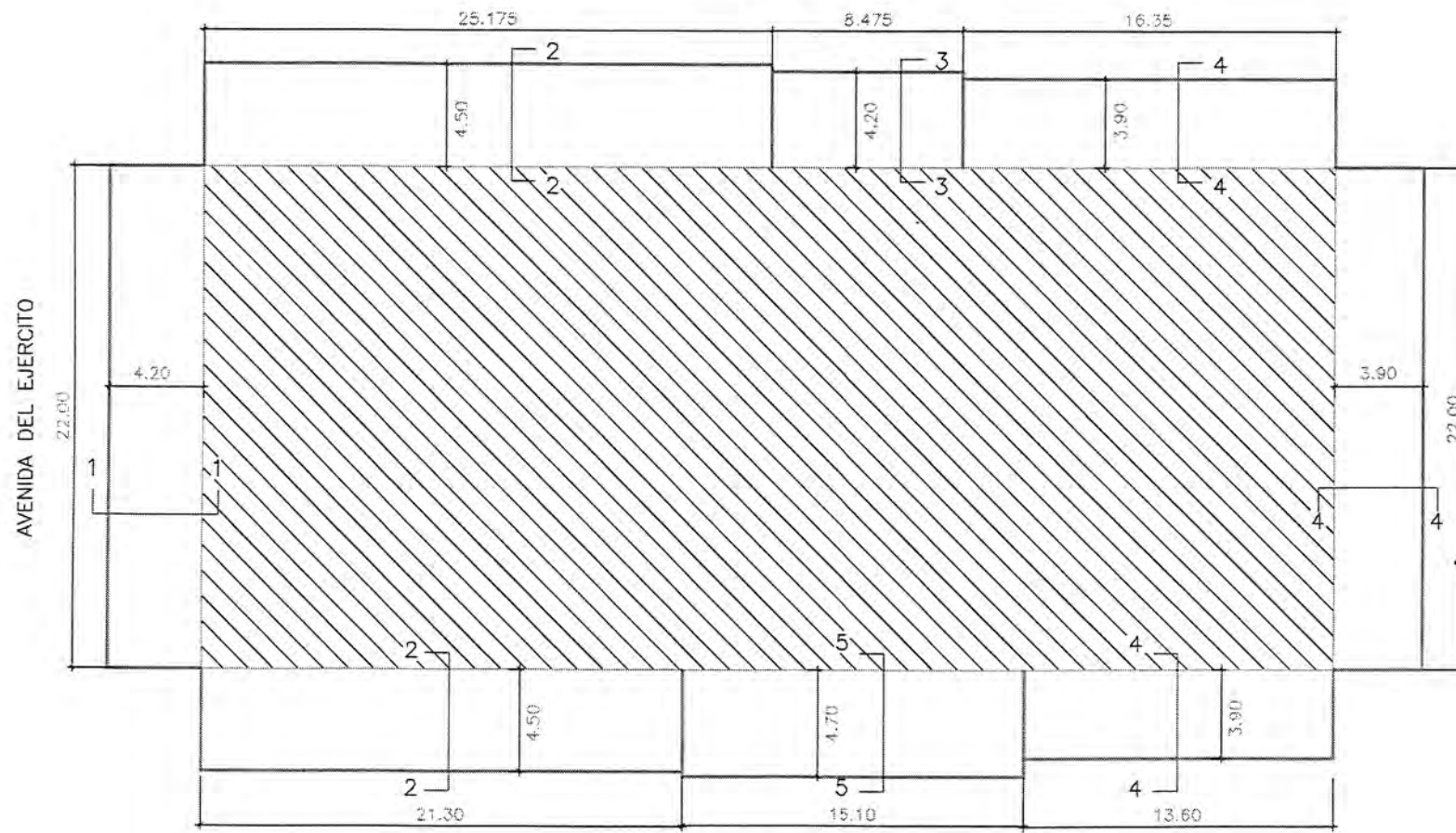
INMUEBLE DE 1 PISO



**Anexo N°2**



### INMUEBLE DE 1 PISO



1. EL DISEÑO DE LAS CALZADAS DEBE SER ADECUADO PARA EL TRÁFICO DE PASAJEROS Y DE CARGA, DEBEN SER MUY AMPLIAS Y CON BUEN DISEÑO DE DRENAJE, PARA EVITAR EL AGUAS DE LA ZONA DE SERVICIO DE LAS CALZADAS EN CASO DE LLUVIA.

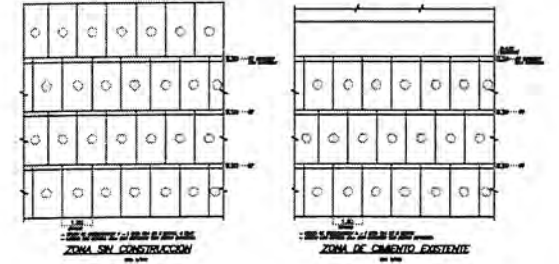
2. EL PROCESO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CALZADAS DEBE SER EL SIGUIENTE: SE DEBE HACER UN DISEÑO DE LAS CALZADAS CON LAS DIMENSIONES DEBIDAS Y CON LAS CURVAS DEBIDAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CALZADAS DEBEN SER MUY AMPLIAS Y CON BUEN DISEÑO DE DRENAJE, PARA EVITAR EL AGUAS DE LA ZONA DE SERVICIO DE LAS CALZADAS EN CASO DE LLUVIA.

3. LAS CALZADAS DEBEN SER CONSTRUIDAS CON UN PAVIMENTO DE CALZADA CON BUEN DISEÑO DE DRENAJE, PARA EVITAR EL AGUAS DE LA ZONA DE SERVICIO DE LAS CALZADAS EN CASO DE LLUVIA.

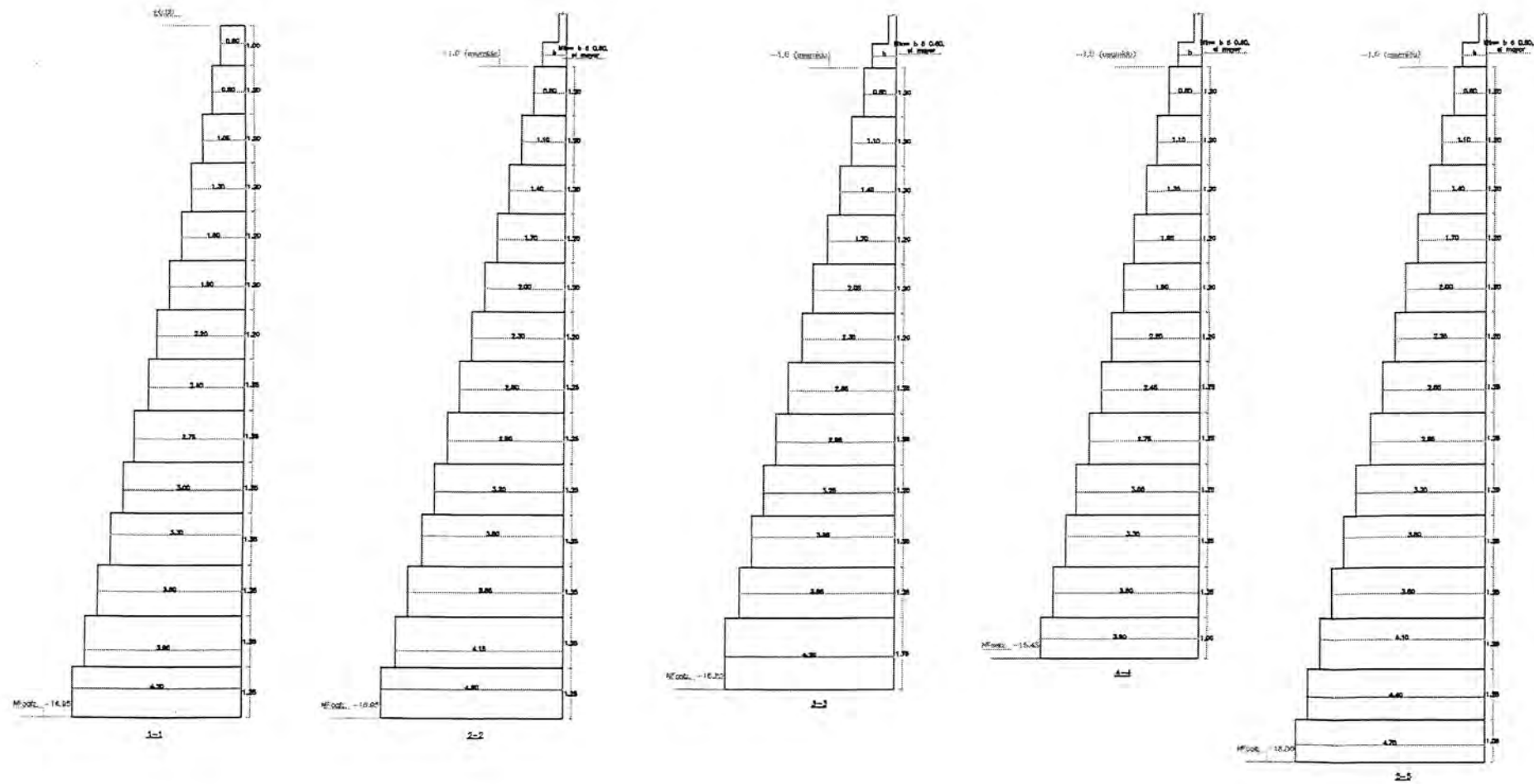
4. EL DISEÑO DE LAS CALZADAS DEBE SER ADECUADO PARA EL TRÁFICO DE PASAJEROS Y DE CARGA, DEBEN SER MUY AMPLIAS Y CON BUEN DISEÑO DE DRENAJE, PARA EVITAR EL AGUAS DE LA ZONA DE SERVICIO DE LAS CALZADAS EN CASO DE LLUVIA.

5. EL DISEÑO DE LAS CALZADAS DEBE SER ADECUADO PARA EL TRÁFICO DE PASAJEROS Y DE CARGA, DEBEN SER MUY AMPLIAS Y CON BUEN DISEÑO DE DRENAJE, PARA EVITAR EL AGUAS DE LA ZONA DE SERVICIO DE LAS CALZADAS EN CASO DE LLUVIA.

### INMUEBLE DE 1 PISO.



### INMUEBLE DE 1 PISO



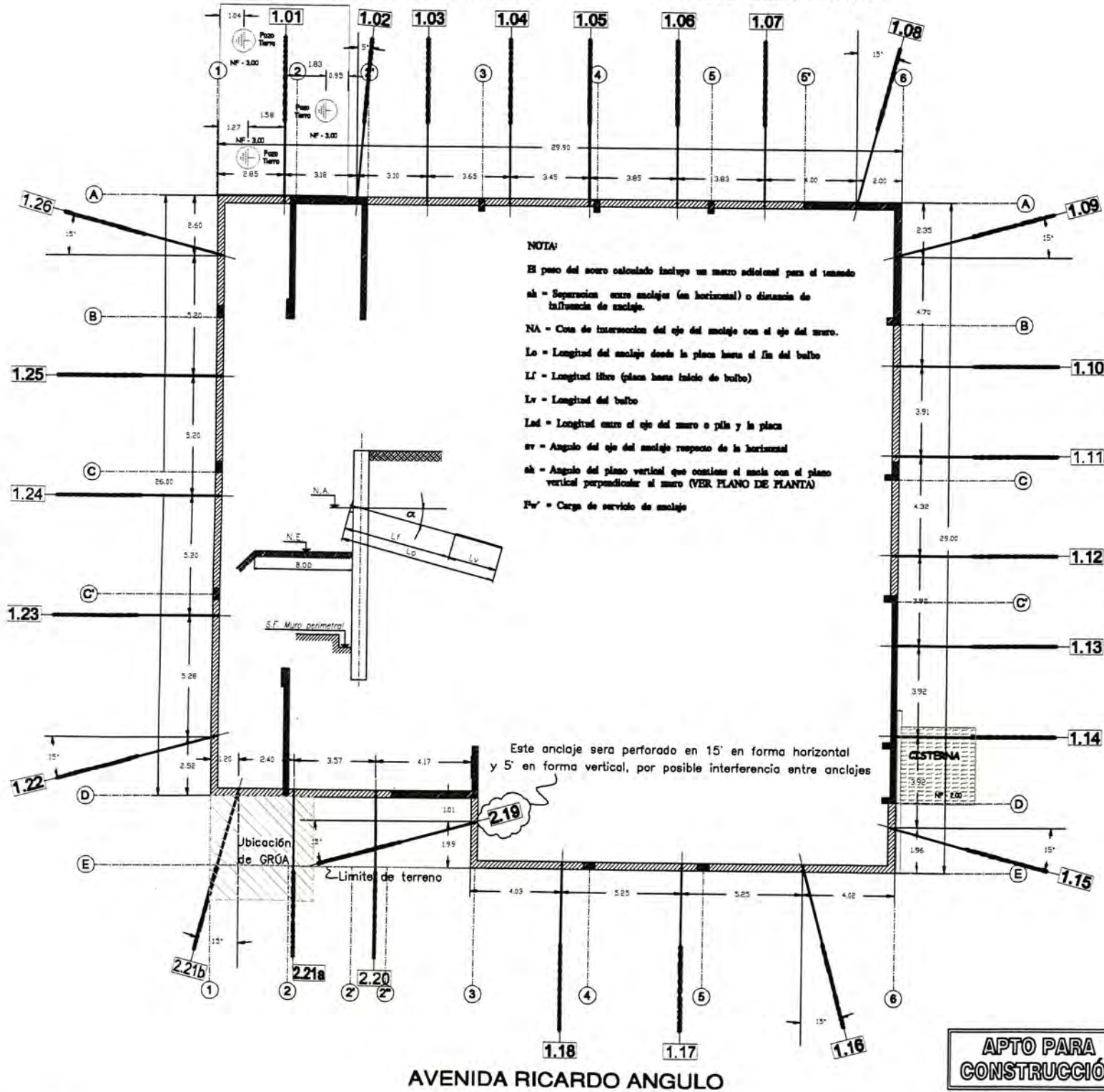


**Anexo N°4**

CALLE CINCO

EDIFICIO DE 7 PISOS

EDIFICIO DE 5 PISOS



**NOTA:**  
 El peso del acero calculado incluye un metro adicional para el tensado  
 ah = Separación entre anclajes (en horizontal) o distancia de influencia de anclaje.  
 NA = Cota de intersección del eje del anclaje con el eje del muro.  
 Lo = Longitud del anclaje desde la placa hasta el fin del bulbo  
 Lf = Longitud libre (placa hasta inicio de bulbo)  
 Lv = Longitud del bulbo  
 Led = Longitud entre el eje del muro o pila y la placa  
 av = Angulo del eje del anclaje respecto de la horizontal  
 ah = Angulo del plano vertical que contiene el anclaje con el plano vertical perpendicular al muro (VER PLANO DE PLANTA)  
 Fw = Carga de servicio de anclaje

Este anclaje sera perforado en 15° en forma horizontal y 5° en forma vertical, por posible interferencia entre anclajes

EMITIDO POR  
 PILOTES TERRATEST PERU S.A.C  
 TODOS LOS DERECHOS  
 RESERVADOS  
 VALIDO SÓLO  
 PARA INFORMACIÓN

Pilotes Terratest Perú S.A.C. Todos los derechos reservados  
 Los derechos de propiedad intelectual de diseño y de los distintos elementos contenidos en el presente documento son titularidad de Pilotes Terratest Perú S.A.C. a quien corresponde el ejercicio exclusivo de los derechos de explotación de los mismos en cualquier forma y, en especial, los derechos de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación.



PROYECTO ANCLAJES POSTENSADOS  
 P11020 - Estacionamientos Clínica Ricardo Palma  
 PROYECTO PILOTES TERRATEST

LISTA DE ANCLAJES - Revisión 1 al 03 de Mayo del 2011

Sector	Numeración	Línea	Cent. ang.	Tipo Anclaje	Anclaje Tipo	Lv	Lf	Lo	ah	av	Fw	Pa'	Pa'	Lanc	Le tot
Área 1 (MPC-2.10)	1.01	1.01	0	T-EGU	TERRA S-2	3.00	4.00	0.00	15°	15°	20	20	20	20	20
Área 2 (MPC-11.50)	1.02	1.02	0	T-EGU	TERRA S-2	3.00	4.00	0.00	15°	15°	20	20	20	20	20
Área 3 (MPC-11.50)	1.03	1.03	0	T-EGU	TERRA S-2	3.00	4.00	0.00	15°	15°	20	20	20	20	20
Área 4 (MPC-11.50)	1.04	1.04	0	T-EGU	TERRA S-2	3.00	4.00	0.00	15°	15°	20	20	20	20	20
Área 5 (MPC-11.50)	1.05	1.05	0	T-EGU	TERRA S-2	3.00	4.00	0.00	15°	15°	20	20	20	20	20
Área 6 (MPC-11.50)	1.06	1.06	0	T-EGU	TERRA S-2	3.00	4.00	0.00	15°	15°	20	20	20	20	20
Área 7 (MPC-11.50)	1.07	1.07	0	T-EGU	TERRA S-2	3.00	4.00	0.00	15°	15°	20	20	20	20	20
Área 8 (MPC-11.50)	1.08	1.08	0	T-EGU	TERRA S-2	3.00	4.00	0.00	15°	15°	20	20	20	20	20
Área 9 (MPC-11.50)	1.09	1.09	0	T-EGU	TERRA S-2	3.00	4.00	0.00	15°	15°	20	20	20	20	20
Área 10 (MPC-11.50)	1.10	1.10	0	T-EGU	TERRA S-2	3.00	4.00	0.00	15°	15°	20	20	20	20	20
Área 11 (MPC-11.50)	1.11	1.11	0	T-EGU	TERRA S-2	3.00	4.00	0.00	15°	15°	20	20	20	20	20
Área 12 (MPC-11.50)	1.12	1.12	0	T-EGU	TERRA S-2	3.00	4.00	0.00	15°	15°	20	20	20	20	20
Área 13 (MPC-11.50)	1.13	1.13	0	T-EGU	TERRA S-2	3.00	4.00	0.00	15°	15°	20	20	20	20	20
Área 14 (MPC-11.50)	1.14	1.14	0	T-EGU	TERRA S-2	3.00	4.00	0.00	15°	15°	20	20	20	20	20
Área 15 (MPC-11.50)	1.15	1.15	0	T-EGU	TERRA S-2	3.00	4.00	0.00	15°	15°	20	20	20	20	20
Área 16 (MPC-11.50)	1.16	1.16	0	T-EGU	TERRA S-2	3.00	4.00	0.00	15°	15°	20	20	20	20	20
Área 17 (MPC-11.50)	1.17	1.17	0	T-EGU	TERRA S-2	3.00	4.00	0.00	15°	15°	20	20	20	20	20
Área 18 (MPC-11.50)	1.18	1.18	0	T-EGU	TERRA S-2	3.00	4.00	0.00	15°	15°	20	20	20	20	20
TOTAL ANCLAJES															443.00

**ANCLAJE POSTENSADO**

- 1-LDS ANCLAJES DEBERÁN CUMPLIR CON LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ESTABLECIDAS EN LOS ALCANCES TÉCNICOS DEL PROYECTO.
- 2-LONGITUD DE BULBO VER LISTA DE ANCLAJES.
- 3-LONGITUD LIBRE VER LISTA DE ANCLAJES.
- 4-ESTAS ESPECIFICACIONES SE COMPLEMENTAN CON LOS SIGUIENTES PROCEDIMIENTOS:  
 PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN DE ANCLAJES PERMANENTES  
 PROCEDIMIENTO DE TENSADO Y ENSAYO DE ACEPTACIÓN.  
 PROCEDIMIENTO DE DOSIFICACIÓN, EJECUCIÓN Y CONTROL DE LECHADA DE INYECCIÓN.
- 5-LDS ANCLAJES SERÁN EN BASE A CABLES DE ACERO DE BAJA RELAJACIÓN POSTENSADOS E INYECTADOS.
- 6-LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS TORNOS RESPONDERÁN A LAS EXIGENCIAS DE LA NORMA ASTM-416-98 PARA CABLES POSTENSADO.
- 7-CARACTERÍSTICAS DE CADA TORN:  

DIAMETRO	0.6" (15.24 mm)
PESO	1.102 (kg/m)
CALIDAD	270 ksi (RESISTENCIA ULTIMA 1860 MPa)
AREA NOMINAL	140 (mm²)
CARGA DE RUPTURA	26.6 (ton)
CARGA DE FLUENCIA	23.9 (ton) (1% DE EXTENSION)

- 8-EL CABLE DEBERÁ TENER COBERTURA ANTIADHERENTE EN TODA SU LONGITUD LIBRE (LF) EXCEPTO EN LOS ÚLTIMOS METROS QUE CORRESPONDEN A LA LONGITUD DE BULBO (LV). ESTA COBERTURA ES EN BASE A GRASA Y A VAINA EXTERIOR DE P.E.
- 9-SE DEBERÁ LLEVAR UN REGISTRO ESTRATIGRÁFICO DURANTE LA EJECUCIÓN DE LOS ANCLAJES DE ACUERDO AL FORMATO DE PARTE DIARIO DE EJECUCIÓN DE ANCLAJES, A TRAVÉS DEL CUAL EL ESPECIALISTA RATIFIQUE LAS HIPÓTESIS DEL INFORME DE MECÁNICA DE SUELOS.
- 10-SE DEBERÁ GARANTIZAR QUE LA LONGITUD DE BULBO SE DESARROLLE EN EL ESTRATO RESISTENTE IDENTIFICADO EN LOS ALCANCES TÉCNICOS DEL PROYECTO.
- 11-EL TENSADO SE DEBERÁ REALIZAR CUANDO LA RESISTENCIA DE LECHADA CUMPLA CON UN DE LOS SIGUIENTES REQUISITOS:  
 a) 7 días de fragüe con cemento portland tipo I,  
 b) 4 días de fragüe con cemento portland tipo IAB  
 c) Resistencia a la compresión simple superior a 210 kg/cm²
- 12-EL PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE ACEPTACIÓN SE DEBE REALIZAR SEGUN LAS RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO, EJECUCIÓN Y CONTROL DE ANCLAJES INYECTADOS Y POSTENSADOS EN SUELOS Y ROCAS DIN4125 (ó NORMA SIMILAR). EL 100% DE LOS ANCLAJES DEBE ESTAR SUJETO A UNA PRUEBA DE ACEPTACIÓN, ESTOS ANCLAJES SERÁN ENSAYADOS AL 125% DE SU CARGA DE SERVICIO. EN CASO DE FALLA, SE DEBERÁ INFORMAR INMEDIATAMENTE A OFICINA TÉCNICA.

**NOTA 1:** Planos sujetos a variación por posibles discordancias entre los antecedentes remitidos por el cliente y la situación real en obra.

APTO PARA CONSTRUCCIÓN

**PILOTES TERRATEST**  
 Av. La Encolada 1388 Oficina 402 Santiago de Surco LMA-PERU

No PROYECTO  
**P11020**  
 EST. CLINICA RICARDO PALMA  
 ALTERNATIVA MURD ANCLADO  
 PLANTA GENERAL

PLANO No: ESCALA S/E REV No

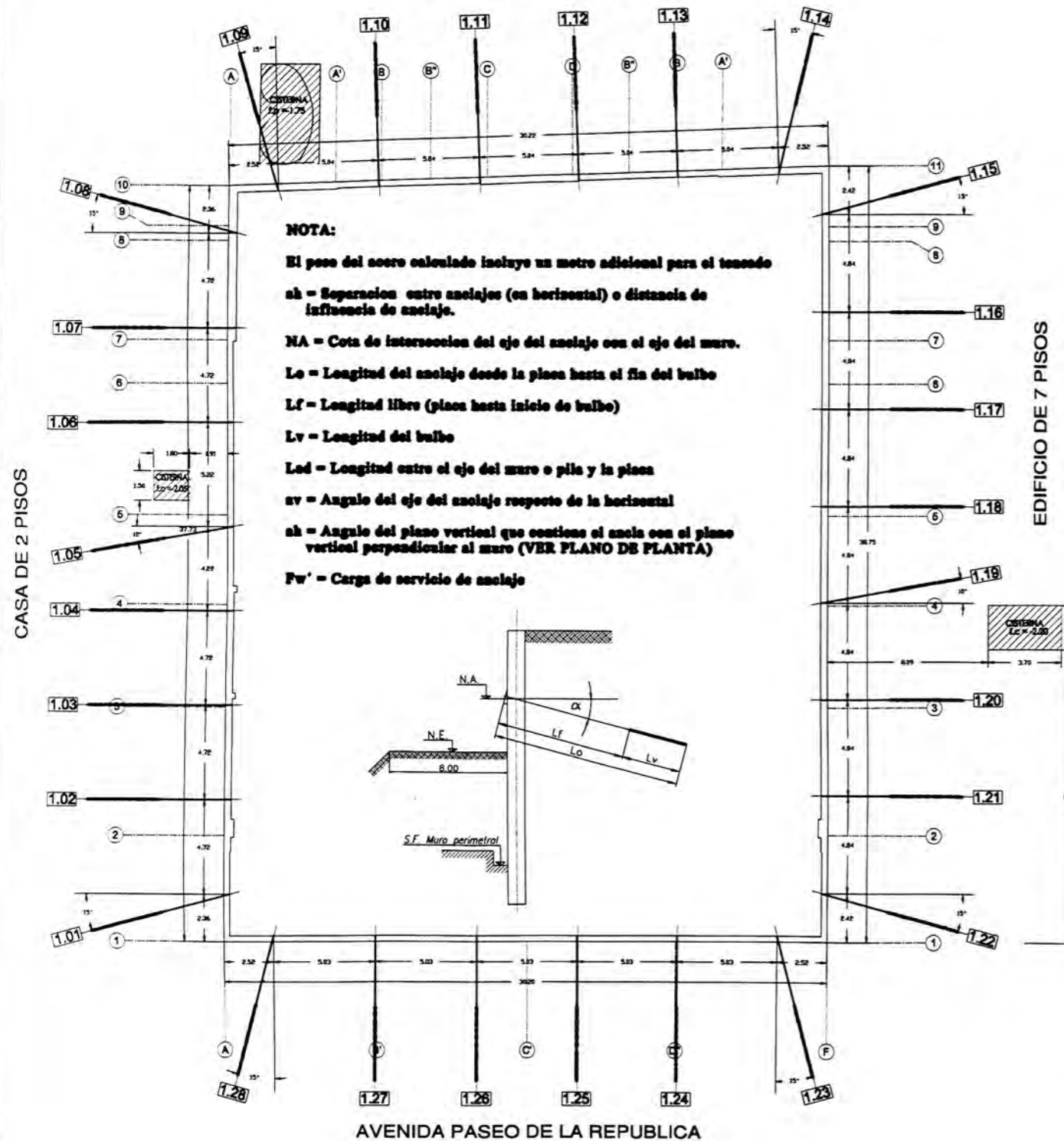
REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIB	ING	REV	APROB
	05/05/2011	MODIFICACIONES POR UBICACION DE GRUA	C.R.D	L.R.R	M.S.S	M.S.S
	25/03/2011	PARA INGRESO A OBRA	C.R.D	L.R.R	M.S.S	M.S.S

P11020-ANC-PLAN-001

**Anexo N°3**



MURO DE CERCO Y JARDIN



NOTA:

El peso del acero calculado incluye un metro adicional para el tenedero

ah = Separacion entre anclajes (en horizontal) o distancia de influencia de anclaje.

NA = Cota de interseccion del eje del anclaje con el eje del muro.

Lo = Longitud del anclaje desde la placa hasta el fin del bulbo

Lf = Longitud libre (placa hasta inicio de bulbo)

Lv = Longitud del bulbo

Lad = Longitud entre el eje del muro o pila y la placa

av = Angulo del eje del anclaje respecto de la horizontal

ah = Angulo del plano vertical que contiene el ancla con el plano vertical perpendicular al muro (VER PLANO DE PLANTA)

Fw' = Carga de servicio de anclaje



PROYECTO ANCLAJES POSTENSADOS  
OBRA: P10024 - Edificio RISCHMOLLER  
PROYECTO PILOTES TERRATEST

LISTA DE ANCLAJES - Revisión 0 al 10 de Mayo del 2010

Sector	Numeración	Línea	Cant. anc.	Tipo Anclaje	Anclaje Tipo	ah m	NA m	Lv m	Lf m	Lo m	av °	Fw' kN	Fw' Ton	L anc. m	Lo tot. m
Zona 1 Calle	1.21 @ 1.22	1	6	T-IGU	TERRA 6 - 3	5.00	-2.20	+0.00	+0.50	8.50	10	27.5	28	9.53	31.00
	NPT-9.68	2	6	T-IGU	TERRA 6 - 3	5.00	-5.90	+0.00	+0.50	8.50	10	27.5	28	9.53	31.00
Zona 2a Vivienda 2P	1.01	1	1	T-IGU	TERRA 6 - 3	4.70	-2.20	+0.00	+0.70	8.70	10	44	45	9.70	9.70
	NPT-9.68	2	1	T-IGU	TERRA 6 - 3	4.70	-5.90	+0.00	+0.50	8.50	10	44	45	9.53	9.53
Zona 2b	1.02 @ 1.03	1	7	T-IGU	TERRA 6 - 3	4.70	-1.75	+0.00	5.00	10.00	10	38.3	39	11.00	39.00
	NPT-11.12	2	7	T-IGU	TERRA 6 - 3	4.70	-5.15	+0.00	+0.50	8.50	10	31.7	32	9.53	9.53
	3.02 @ 3.03	3	7	T-IGU	TERRA 6 - 3	4.70	-6.65	+0.00	+0.50	8.50	10	31.7	32	9.53	9.53
Zona 3 patio	1.05 @ 1.14	1	5	T-IGU	TERRA 6 - 3	5.03	-1.75	+0.00	+0.70	8.70	10	30.8	30	9.70	9.70
	NPT-11.12	2	5	T-IGU	TERRA 6 - 3	5.03	-5.15	+0.00	+0.50	8.50	10	46.8	47	9.53	9.53
	3.09 @ 3.14	3	5	T-IGU	TERRA 6 - 3	5.03	-6.65	+0.00	+0.50	8.50	10	46.8	47	9.53	9.53
Zona 4 VMF 7P	1.15 @ 1.16 @ 1.18 @ 1.22	1	7	T-IGU	TERRA 6 - 3	4.80	-1.50	+0.00	7.50	9.50	10	46.3	46	10.50	9.50
	NPT-11.12	2	7	T-IGU	TERRA 6 - 3	4.80	-4.90	+0.00	7.50	9.50	10	31.8	32	10.50	9.50
	3.15 @ 3.16 @ 3.18 @ 3.22	3	7	T-IGU	TERRA 6 - 3	4.80	-6.40	+0.00	+0.50	8.50	10	31.8	32	9.53	9.53
Zona 5 VMF 7P	1.17	1	1	T-IGU	TERRA 6 - 3	4.80	-1.50	+0.00	7.50	9.50	10	35.3	35	12.50	11.50
	NPT-11.12	2	1	T-IGU	TERRA 6 - 3	4.80	-4.90	+0.00	7.50	9.50	10	35.3	35	12.50	11.50
Zona cisterna -13.77	1.17	1	1	T-IGU	TERRA 6 - 3	4.80	-7.95	+0.00	9.30	10	35.3	30	10.50	9.50	
	NPT-11.12	2	1	T-IGU	TERRA 6 - 3	4.80	-11.60	+0.00	+0.50	8.50	10	35.3	35	9.53	9.53
TOTAL ANCLAJES			75												695.30

ANCLAJE POSTENSADO

1-LOS ANCLAJES DEBERÁN CUMPLIR CON LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ESTABLECIDAS EN LOS ALCANCES TÉCNICOS DEL PROYECTO.

2-LONGITUD DE BULBO VER LISTA DE ANCLAJES.

3-LONGITUD LIBRE VER LISTA DE ANCLAJES.

4-ESTAS ESPECIFICACIONES SE COMPLEMENTAN CON LOS SIGUIENTES PROCEDIMIENTOS:

PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN DE ANCLAJES PERMANENTES  
PROCEDIMIENTO DE TENSADO Y ENSAYO DE ACEPTACIÓN.  
PROCEDIMIENTO DE DOSIFICACIÓN, EJECUCIÓN Y CONTROL DE LECHADA DE INYECCIÓN.

5-LOS ANCLAJES SERÁN EN BASE A CABLES DE ACERO DE BAJA RELAJACIÓN POSTENSADOS E INYECTADOS.

6-LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS TORNOS RESPONDERÁN A LAS EXIGENCIAS DE LA NORMA ASTM-416-98 PARA CABLES DE HORMIGÓN POSTENSADO.

7-CARACTERÍSTICAS DE CADA TORÓN:

DIÁMETRO	0,6" (15,24 mm)
PESO	1,102 [kg/m]
CALIDAD	270 kg (RESISTENCIA ULTIMA 1860 MPa)
ÁREA NOMINAL	140 [mm <sup>2</sup> ]
CARGA DE RUPTURA	26,6 [ton]
CARGA DE FLUENCIA	23,9 [ton] (1% DE EXTENSION)

8-EL CABLE DEBERÁ TENER COBERTURA ANTIADHERENTE EN TODA SU LONGITUD LIBRE (LF) EXCEPTO EN LOS ÚLTIMOS METROS QUE CORRESPONDEN A LA LONGITUD DE BULBO (LV). ESTA COBERTURA ES EN BASE A GRASA Y A VAINA EXTERIOR DE PEAD.

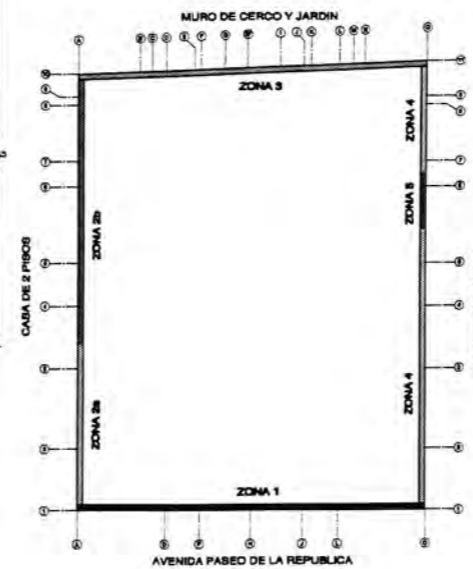
9-SE DEBERÁ LLEVAR UN REGISTRO ESTRATIGRÁFICO DURANTE LA EJECUCIÓN DE LOS ANCLAJES DE ACUERDO AL FORMATO DE PARTE DIARIO DE EJECUCIÓN DE ANCLAJES, A TRAVÉS DEL CUAL EL ESPECIALISTA RATIFIQUE LAS HIPÓTESIS DEL INFORME DE MECÁNICA DE SUELOS.

10-SE DEBERÁ GARANTIZAR QUE LA LONGITUD DE BULBO SE DESARROLLE EN EL ESTRATO RESISTENTE IDENTIFICADO EN LOS ALCANCES TÉCNICOS DEL PROYECTO.

11-EL TENSADO SE DEBERÁ REALIZAR CUANDO LA RESISTENCIA DE LECHADA CUMPLA CON UNO DE LOS SIGUIENTES REQUISITOS:

- a) 7 días de fragüe con cemento portland tipo 1,
- b) 4 días de fragüe con cemento portland tipo 1AB
- c) Resistencia a la compresión simple superior a 210 kg/cm<sup>2</sup>

12-EL PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE ACEPTACIÓN SE DEBE REALIZAR SEGUN LAS RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO, EJECUCIÓN Y CONTROL DE ANCLAJES INYECTADOS Y POSTENSADOS EN SUELOS Y ROCAS DIN4125 (ó NORMA SIMILAR). EL 100% DE LOS ANCLAJES DEBE ESTAR SUJETO A UNA PRUEBA DE ACEPTACIÓN, ESTOS ANCLAJES SERÁN ENSAYADOS AL 125% DE SU CARGA DE SERVICIO. EN CASO DE FALLA, SE DEBERÁ INFORMAR INMEDIATAMENTE A OFICINA TÉCNICA.



Av. La Encolada 1388 Oficina 402 Santiago de Surco - LIMA-PERU

No. PROYECTO: P10024  
EDIFICIO RISCHMOLLER  
ALTERNATIVA MURO ANCLADO  
PLANTA GENERAL

PLANO No: ESCALA: S/E REV. No:

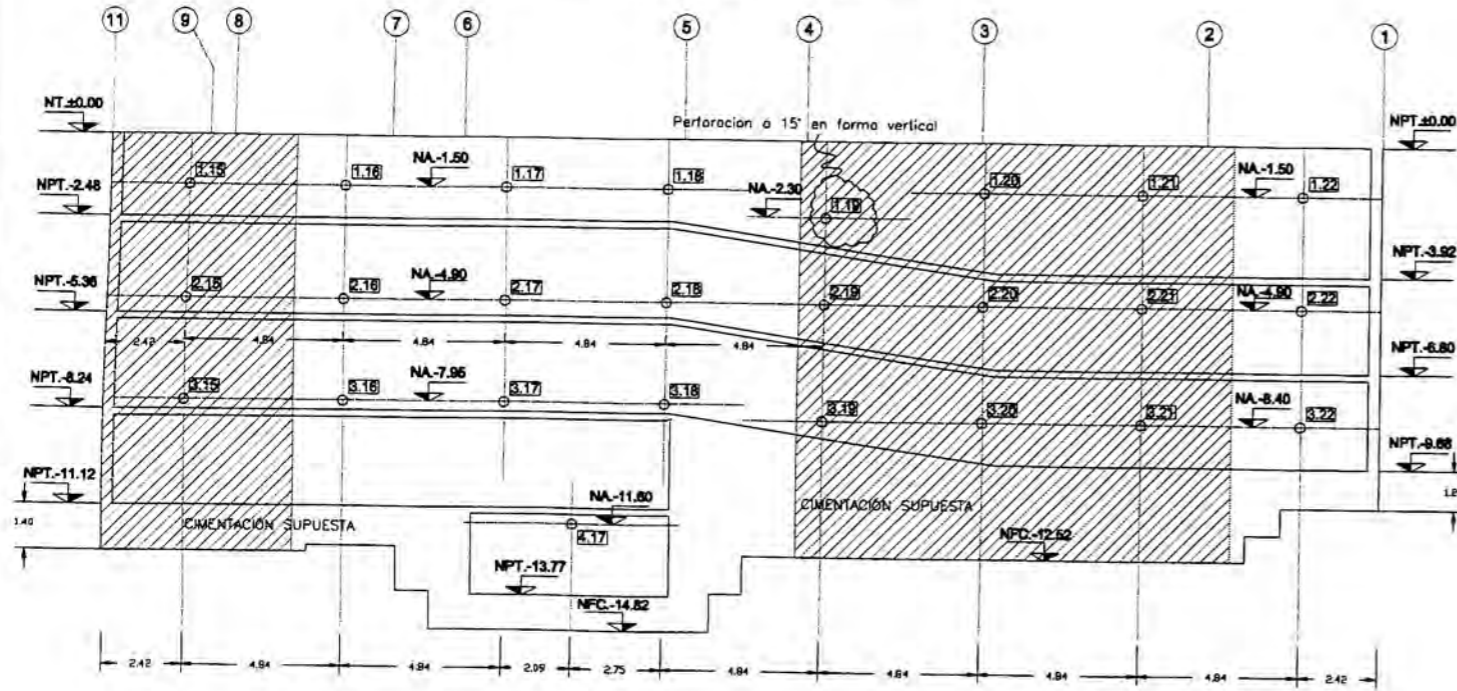
10/05/2010	PARA REVISIÓN Y COMENTARIOS	C.R.D	E.C.Z	M.S.S	M.S.S
------------	-----------------------------	-------	-------	-------	-------

P10024-ANC-PLAN-001



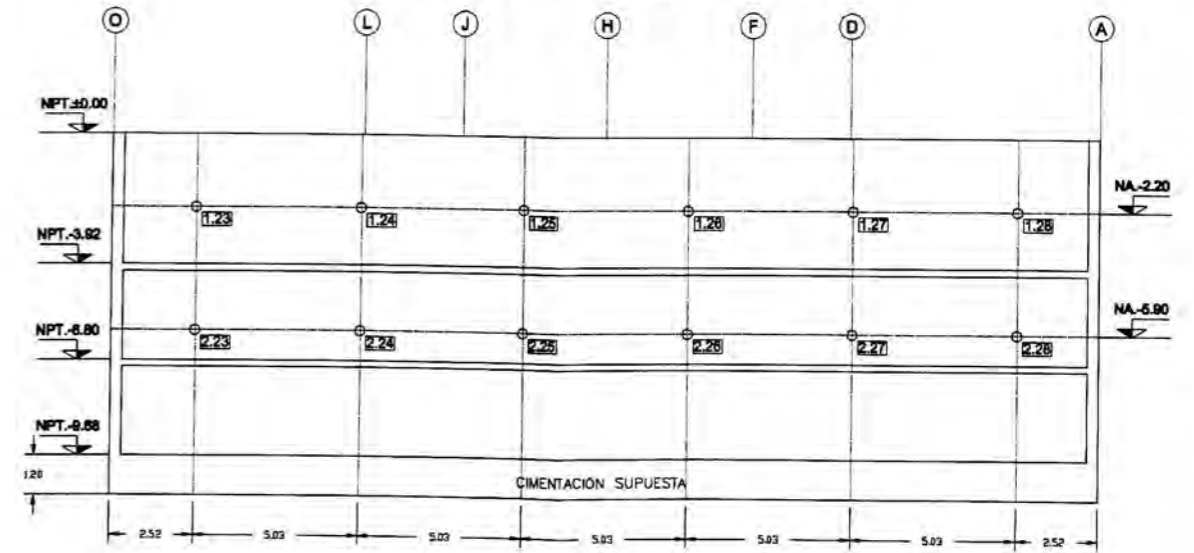
# ELEVACIÓN EJE O

EDIFICIO DE 7 PISOS



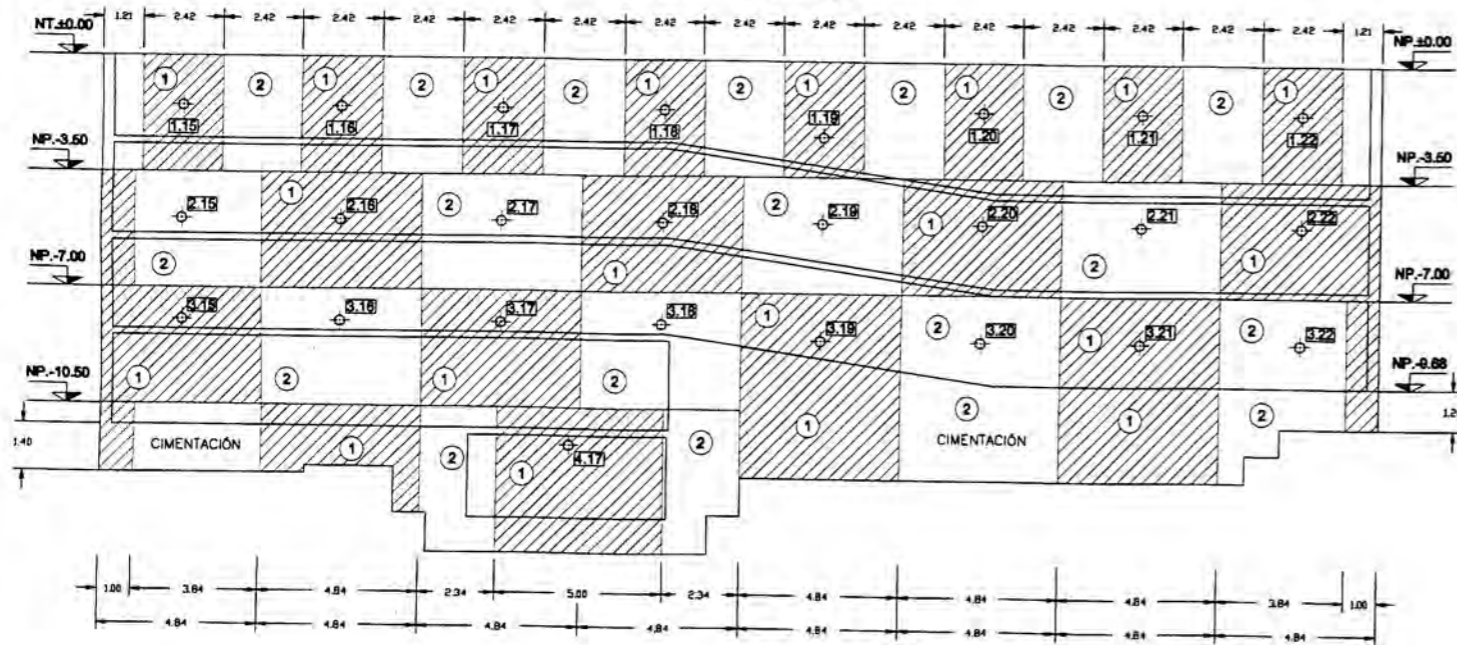
# ELEVACIÓN EJE 1

AVENIDA PASEO DE LA REPUBLICA



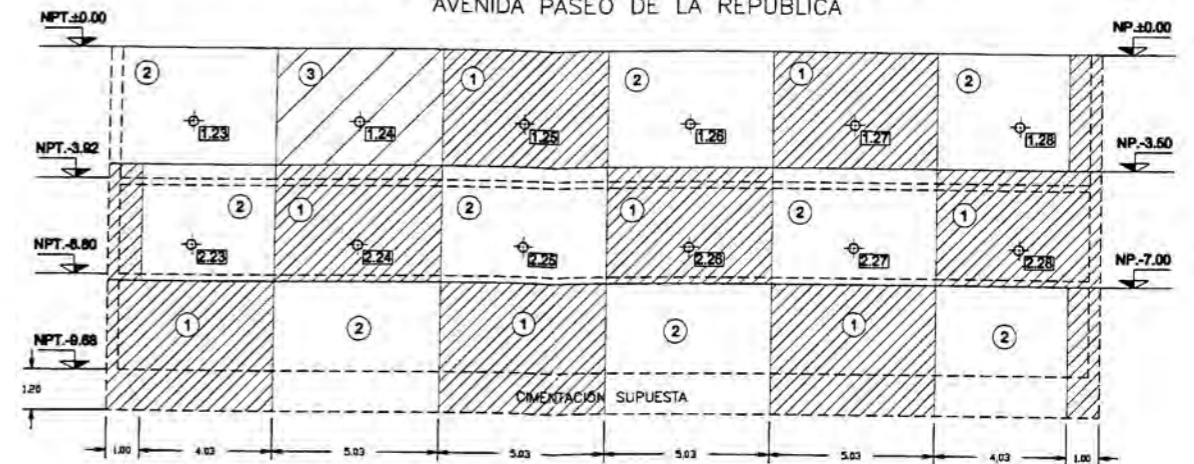
# ELEVACIÓN EJE PANELADO O

EDIFICIO DE 7 PISOS



# ELEVACIÓN PANELADO EJE 1

AVENIDA PASEO DE LA REPUBLICA



## LEYENDA

- NPT: Nivel de piso terminado
- NP: Nivel de panelado
- NA: Nivel de Anclaje
- NT: Nivel de Terreno



Av. La Encalada 1388 Oficina 402 Santiago de Surco LIMA-PERU

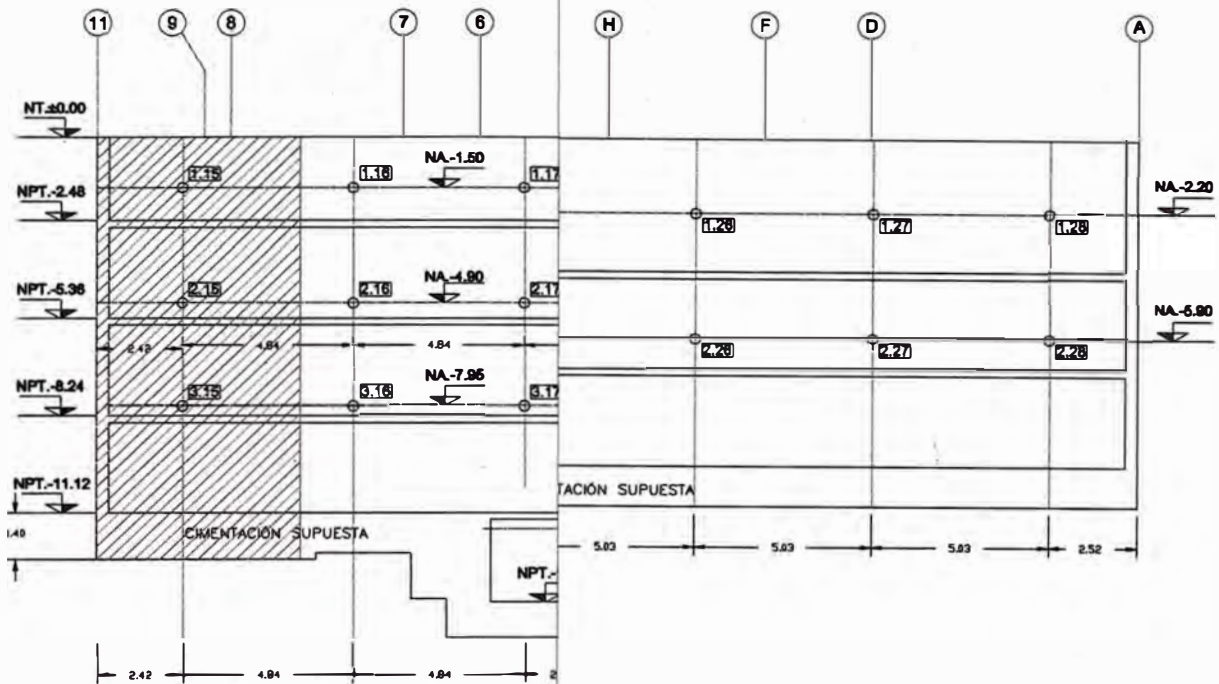
No. PROYECTO  
P10024

EDIFICIO RISCHMOLLER  
ALTERNATIVA MURO ANCLADO  
ELEVACIONES  
EJES 0 y 1



# ELEVACIÓN EJE 1

ASEO DE LA REPUBLICA



# ELEVACIÓN PANELADO EJE 1

ASEO DE LA REPUBLICA



LEYENDA	
NPT:	Nivel de piso terminado
NP:	Nivel de panelado
NA:	Nivel de Anclaje
NT:	Nivel de Terreno
Placas o Columnas	



Av. Lo Encatado 1388 Oficina 402 Santiago de Surco LIMA-PERU

No. PROYECTO	P10024	EDIFICIO RISCHMOLLER ALTERNATIVA MURD ANCLADO ELEVACIONES EJES 0 y 1	ESCALA	S/E	REV. No.

