

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ**

**PROPUESTA Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS  
CONSTRUCTIVAS PARA LA MEJORA EN EL ACABADO DE LOS  
MUROS ANCLADOS.  
CASO DE PROYECTO DE EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE  
LIMA.**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presenta el bachiller:

**Alvaro Guillermo Jorge Ramos Ríos**

**ASESOR: Ing. Xavier Max Brioso Lescano**

Lima, abril de 2015

## RESUMEN

El “Proyecto Panorama Plaza Negocios” es un proyecto de desarrollo inmobiliario orientado a convertirse en un centro empresarial ubicado en el corazón del distrito de Santiago de Surco. El complejo será de 19 pisos y 9 sótanos, lo cual implica un volumen masivo de excavación y la necesidad de optar por muros anclados para el sostenimiento de taludes. Este estudio se centra en el proceso constructivo de los muros anclados.

Durante la construcción de los muros anclados del proyecto se ejecutaron dos propuestas alternativas a su proceso constructivo. La primera implica un diseño alternativo para la distribución del panelado de los muros, con lo cual se busca disimular las juntas horizontales de construcción generadas en el acabado final de los muros de entrepiso de los sótanos. La segunda propuesta presenta un tratamiento alternativo para la cachimba, la cual genera un desperdicio innecesario de horas hombre y materiales para su demolición bajo un método tradicional. Ambas propuestas buscan maximizar la calidad del acabado de los muros, así como optimizar su proceso constructivo en términos de costos, tiempos y procesos.

El objetivo principal de esta tesis es describir las alternativas constructivas propuestas en el proyecto; analizar su desempeño en la calidad del acabado de los muros, en el ahorro de costos y en la reducción de tiempos; y presentar estas mejoras como métodos alternativos al proceso constructivo de los muros anclados. De misma manera, reportar las desviaciones encontradas en el acabado y analizar sus posibles causas.

## DEDICATORIA

A mi abuelo Jorge, por haber sido mi primer maestro y haberme pulido desde niño.



## AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme un día más de vida y permitirme seguir luchando por mis sueños. A mis padres por haber sido un apoyo incondicional durante todo este año. A mi papá por los conocimientos, a mi mamá por su cariño. A mi familia en general, por haber siempre confiado en mí y ser la motivación para superar mis propios límites, espero no haberlos decepcionado. A mi enamorada, por ser mi compañera incondicional en todo momento y nunca dejar que pierda la confianza en mí mismo. A todos mis amigos y compañeros, por sus palabras de apoyo y aliento durante este camino.

A la PUCP, por haber sido mi alma mater durante estos años y haberme formado humana y profesionalmente de manera igual. A la Especialidad de Ingeniería Civil, por haberme enseñado el amor hacia la carrera. A mi asesor el Ing. Xavier Brioso, por sus consejos, recomendaciones y apoyo esenciales para el desarrollo de este documento.

A Graña y Montero, por haberme acogido y apoyado en el desarrollo de este estudio y por haberme enseñado más de lo que podía aprender. A Hugo Pineda, por ser mi asesor de proyecto todo este año y por sus consejos y experiencia, nunca faltaron. A Rafael Castro, por sus locas ideas, sobre las cuales baso esta investigación. A mis colegas del Proyecto Panorama, por haberse convertido en mi segunda familia.

A todos ellos, muchas gracias.



## ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b> .....	<b>I</b>
<b>LISTA DE TABLAS Y DIAGRAMAS USADOS</b> .....	<b>V</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>VI</b>
<b>CAPÍTULO 1: SITUACIÓN A INVESTIGAR</b> .....	<b>1</b>
<i>1.1. Antecedentes y justificación</i> .....	1
1.1.1. Antecedentes.....	1
1.1.2. Justificación.....	1
<i>1.2. Objetivos</i> .....	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos .....	2
<i>1.3. Alcances</i> .....	2
<b>CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL</b> .....	<b>3</b>
<i>2.1. Definición del sostenimiento de taludes</i> .....	3
<i>2.2. Tipos de sostenimiento de taludes</i> .....	3
2.2.1. Estabilización de talud sin protección .....	3
2.2.2. Calzaduras.....	4
2.2.3. Muro de contención .....	6
2.2.3.1. Muro en voladizo.....	7
2.2.3.2. Muro apuntalado.....	8
2.2.3.3. Muro con anclajes temporales (Muro anclado) .....	10
<b>CAPÍTULO 3: MÉTODO DE LOS MUROS ANCLADOS</b> .....	<b>13</b>
<i>3.1. Situación actual en el mercado de la construcción</i> .....	13
<i>3.2. Conceptos básicos de diseño de muros anclados</i> .....	14
3.2.1. Consideraciones estructurales para el diseño de los muros anclados .....	14
3.2.2.1. Consideraciones estructurales para el diseño de muros de sótano .....	15
3.2.2.1.1. Primera etapa.....	15
3.2.2.1.2. Segunda etapa .....	17

3.2.2.1.3. Tercera etapa .....	18
3.2.2.2. Consideraciones para el diseño de los anclajes .....	18
3.3. <i>Construcción de los muros anclados</i> .....	21
3.3.1. Consideraciones durante el proceso constructivo .....	21
3.3.2. Proceso constructivo .....	22
3.3.2.1. Excavación masiva y con rampa .....	22
3.3.2.2. Perforación del terreno .....	23
3.3.2.3. Lechada de cemento en la perforación .....	24
3.3.2.4. Instalación del cabezal de inyección .....	24
3.3.2.5. Perfilado del terreno .....	25
3.3.2.6. Colocación de la armadura .....	25
3.3.2.7. Colocación del encofrado .....	26
3.3.2.8. Vaciado de concreto .....	27
3.3.2.9. Desencofrado, curado y picado de muro .....	28
3.3.2.10. Resane de los muros en la zona de anclaje .....	29
3.3.2.11. Tensado de anclajes .....	30
3.3.3. Proceso constructivo .....	31
3.4. <i>Relevancia dentro del proyecto</i> .....	32
3.4.1. Relevancia en el presupuesto .....	32
3.4.2. Relevancia dentro del plazo de ejecución .....	35
<b>CAPÍTULO 4: DESVIACIONES ENCONTRADAS EN EL ACABADO DE LOS MUROS ANCLADOS</b> .....	38
4.1. <i>Cangrejas</i> .....	38
4.1.1. Definición .....	38
4.1.2. Tolerancia .....	40
4.1.3. Método de reparación .....	40
4.1.4. Ocurrencias .....	42
4.2. <i>Burbujas</i> .....	42
4.2.1. Definición .....	42
4.2.2. Tolerancia .....	43
4.2.3. Método de reparación .....	43
4.2.4. Ocurrencias .....	44

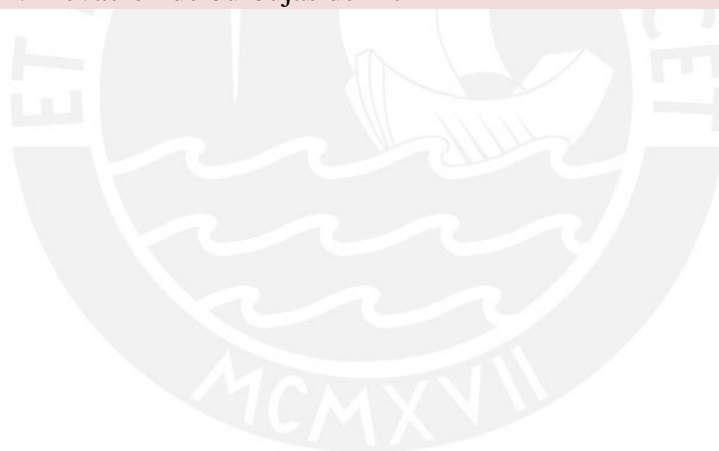
4.3. Desplomes.....	49
4.3.1. Definición .....	49
4.3.2. Tolerancia .....	50
4.3.3. Método de reparación .....	51
4.3.4. Ocurrencias .....	51
4.4. Fisuras .....	54
4.4.1. Definición .....	54
4.4.2. Tolerancia .....	54
4.4.3. Método de reparación .....	55
4.4.4. Ocurrencias .....	55
4.5. Juntas frías .....	56
4.5.1. Definición .....	56
4.5.2. Tolerancia .....	57
4.5.3. Método de reparación .....	57
4.5.4. Ocurrencias .....	57
4.6. Segregaciones.....	58
4.6.1. Definición .....	58
4.6.2. Tolerancia .....	59
4.6.3. Método de reparación .....	60
4.6.4. Ocurrencias .....	60
<b>CAPÍTULO 5: AGENTES QUE AFECTAN EL ACABADO DE LOS MUROS ...</b>	<b>62</b>
5.1. Mal vibrado durante el vaciado de concreto .....	62
5.2. Limpieza de los paneles de encofrado.....	64
5.3. Espesor del recubrimiento de los muros .....	65
5.4. Refuerzo del encofrado.....	67
5.5. Falta de capacitación a la mano de obra.....	68
5.6. Dosificación de la mezcla del concreto.....	69
5.6.1. Consecuencias de un slump bajo .....	69
5.6.2. Consecuencias de un slump alto .....	70
5.6.3. Efecto de los acelerantes de fraguado.....	71
<b>CAPÍTULO 6: PROPUESTA DE ALTERNATIVAS CONSTRUCTIVAS .....</b>	<b>72</b>
6.1. Diseño alternativo de distribución de paneles en muros anclados .....	72

6.2. <i>diseño alternativo para el tratamiento de cachimbas</i> .....	75
6.3. <i>Categorización de las mejoras</i> .....	77
6.3.1. Proceso de ejecución.....	77
6.3.2. Costos .....	77
6.3.3. Productividad.....	78
6.3.4. Calidad.....	79
6.3.5. Seguridad.....	79
6.4. <i>Requerimiento de las alternativas</i> .....	81
<b>CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>82</b>
7.1. <i>Conclusiones</i> .....	82
7.2. <i>Recomendaciones</i> .....	84
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>85</b>



## LISTA DE TABLAS Y DIAGRAMAS USADOS

LISTA DE TABLAS Y DIAGRAMAS USADOS	
Tabla 3.1. N° de sótanos vs. Espesores de muros.	<b>Pág. 17</b>
Tabla 3.2. Costos parciales de las especialidades involucradas en el proyecto.	<b>Pág. 33</b>
Tabla 3.3. Resumen del grupo presupuestal <b>Estructuras</b> .	<b>Pág. 33</b>
Tabla 3.4. Resumen del cronograma de obra.	<b>Pág. 35</b>
Tabla 4.1. Control de desplomes.	<b>Pág. 52</b>
Tabla 4.2. Calificación de segregaciones.	<b>Pág. 59</b>
Tabla 4.3. Resumen de tolerancias.	<b>Pág. 60</b>
Tabla 5.1. Slump vs. Tiempo de vibrado.	<b>Pág. 61</b>
Tabla 5.2. Resultados del uso de ambos desmoldantes.	<b>Pág. 63</b>
Tabla 6.1. Comparación de niveles de piso.	<b>Pág. 73</b>
Tabla 6.2. Comparación alturas de paños y diferencia de ubicación de la costura de muro con la de entrepiso.	<b>Pág. 74</b>
Diagrama 1. Elevación de burbujas del EJE 1	<b>Pág. 45</b>
Diagrama 2. Elevación de burbujas del EJE M	<b>Pág. 46</b>
Diagrama 3. Elevación de burbujas del EJE 20	<b>Pág. 47</b>
Diagrama 4. Elevación de burbujas del EJE A	<b>Pág. 48</b>



## INTRODUCCIÓN

El sostenimiento de taludes para la construcción de sótanos está diseñado para resistir los empujes laterales del suelo y las sobrecargas de edificaciones vecinas, los cuales pueden ocasionar derrumbes por fallas de humedad o movimientos sísmicos si el refuerzo escogido no es el adecuado.

En el medio local tenemos tres métodos con los cuales podemos desarrollar esta estabilización: estabilización de talud sin protección, calzaduras y muros pantalla con anclajes temporales (muros anclados), siendo este último método el más usado hoy en día debido a que funciona óptimamente para un mayor número de sótanos, brindando seguridad al área de trabajo durante el movimiento de tierras. El sistema de muros pantalla con anclaje temporal consta de un sistema de anclajes postensados y muros de contención que al unirse desarrollan una alta resistencia a los empujes del terreno.

Al retirar el encofrado de los muros anclados es muy recurrente la aparición de desviaciones por encima del nivel de tolerancia aceptado. Entiéndase por desviaciones a las cangrejeras, burbujas, segregaciones o cualquier otra imperfección en el muro que es considerada una “No Conformidad”. La acción de un trabajo mal hecho incide directamente en el contratista constructor, dado que estas horas hombre, equipos y materiales invertidos en retrabajos generan un gasto extra no contemplado en el presupuesto.

Por los motivos expuestos, es necesario un estudio de las causas raíz que generan los distintos tipos de desviaciones en los muros. En tanto, esta tesis elaborará una investigación de estas causas en mira a reducir las desviaciones, elaborando de esta manera recomendaciones y alternativas de mejora para el proceso constructivo de los muros anclados.

El desarrollo de esta investigación se estructura en siete (7) capítulos.

Capítulo 1. Situación a Investigar: En esta sección se explican los argumentos que sustentan el planteamiento del problema central en estudio, se definen los objetivos generales y específicos que guiaron el desarrollo del trabajo, la justificación, la cual expone la congruencia del mismo, y el alcance.

Capítulo 2. Marco Conceptual: Se presentan los conceptos básicos de los métodos de sostenimiento de taludes que podemos encontrar en un proyecto de edificaciones, siendo un total un total de tres (3). Se detallan los taludes sin sostenimiento, las calzaduras y los muros pantalla. Dentro de los muros pantalla se desarrolla los tres tipos que podemos

encontrar: en voladizo, apuntalados o anclados. Para cada uno de estos métodos se da una breve reseña y observaciones para su uso.

Capítulo 3. Método de los Muros Anclados: Se describe a fondo el tema central de esta investigación: los muros anclados. Se explica su posición en el mercado de la construcción actual, aspectos técnicos básicos que se deben tomar en cuenta para su diseño, su procedimiento constructivo y la relevancia que tienen dentro de un proyecto.

Capítulo 4. Desviaciones Encontradas en el Acabado de los Muros Anclados: En esta sección se desarrolla una descripción a detalle de todos los tipos de desviaciones que se pueden encontrar en la fase de muros anclados. Se describen las cangrejas, burbujas, desplomes, fisuras, segregaciones y juntas frías.

Capítulo 5. Acciones que Afectan el Acabado de los Muros Anclados: Se desarrollan las causas raíz que generan las desviaciones. Se describen y se asocian sus consecuencias a las imperfecciones de los muros.

Capítulo 6. Propuesta de Procedimientos de Mejora: Se desarrolla una propuesta de procedimiento de mejora en vista de maximizar la calidad del acabado del muro. Se usan los datos de los análisis tomados en campo para sustentar esta propuesta. Se realiza un análisis de costos y tiempo con respecto al uso de esta implementación.

Capítulo 7. Conclusiones y Recomendaciones: Siendo la parte final de la investigación, se presentan las conclusiones más rescatables del análisis hecho en relación a las desviaciones presentadas en los muros y las acciones que conllevan a ellas. En base a esto se generan las recomendaciones pertinentes.



## CAPÍTULO I: SITUACIÓN A INVESTIGAR

### 1.1. Antecedentes y justificación.

#### 1.1.1. Antecedentes.

Para la elaboración y ejecución de un proyecto de edificaciones, el método de muros anclados para sostenimiento de taludes se ha vuelto el más utilizado por los constructores desde hace algunos años en la ciudad de Lima; sin embargo, muy pocos son los estudios realizados sobre el proceso constructivo y el acabado de estos muros.

Los promotores inmobiliarios optan por realizar proyectos con un número de sótanos que hasta hace algunos años era impensable. Ver proyectos con 8, 9 o 10 sótanos ya se ha vuelto algo habitual. Es por la alta cohesividad de nuestro suelo que se pueden dar a lugar estos proyectos. Junto con el número de sótanos, la cantidad de muros anclados que se construyen por proyecto ha incrementado notablemente.

Cuando se termina de construir un muro, es decir al momento de desencofrarlo, se nota diversas desviaciones en su acabado. Burbujas, cangrejeras, segregaciones, desplomes, fisuras y juntas frías se han vuelto algo tan común que ya parece que fuera un resultado normal; no obstante, lo normal para el constructor debería ser un acabado óptimo, es decir, que no necesite resanar.

Este problema se ha identificado en diversos proyectos de edificaciones en la ciudad de Lima, en los cuales la mayoría de sus muros han presentado estas desviaciones. Estos proyectos serán el alcance de esta investigación.

#### 1.1.2. Justificación.

El motivo de esta investigación está basado en minimizar los problemas que se presentan en el acabado de los muros pantalla con anclajes temporales. Debido a que es el método de sostenimiento de taludes más utilizado en la ciudad de Lima gracias al ahorro que nos brinda en tiempo, además de ser actualmente el procedimiento más seguro para la construcción de sótanos en comparación con el uso de calzaduras o taludes sin protección.

Esta investigación determinará las diversas causas que originan los defectos en el acabado de los muros, a manera que se pueda determinar un procedimiento de mejora adecuado para la construcción de éstos. Se espera que los procesos de mejora propuestos en esta investigación sirvan para los diversos proyectos futuros en Lima.



## 1.2. Objetivos.

### 1.2.1. Objetivo General.

El objetivo general de esta investigación es maximizar la calidad del acabado de los muros pantalla con anclaje temporal para un proyecto de edificaciones en Lima, identificando la alternativa de procedimiento constructivo más adecuada en cuanto a costo, tiempo y materiales.

### 1.2.2. Objetivos Específicos.

- Definir el sostenimiento de taludes para proyectos de edificaciones tradicionales.
- Explicar el método de muros pantalla con anclaje temporal.
- Plantear los problemas encontrados en el acabado de los muros anclados.
- Diseñar o complementar procedimientos o métodos constructivos que intentarán minimizar los efectos negativos en el acabado, mejorando la calidad de éstos.
- Realizar un análisis de costos y tiempos usando las alternativas constructivas propuestas en esta investigación.
- Desarrollar las conclusiones de esta investigación.

## 1.3. Alcance.

Se estudiarán las diferentes causas de las desviaciones que se pudieran encontrar en los muros anclados durante la fase de excavaciones de diversos proyectos de edificaciones en la ciudad de Lima.

En una primera parte se hará una descripción del procedimiento constructivo actual de los muros anclados junto con análisis estadísticos de las desviaciones encontradas en ellos. También un análisis de las consecuencias de ciertos pasos en el procedimiento constructivo en el acabado de los muros.

En la segunda parte se plantearán las recomendaciones al procedimiento constructivo encontradas en la investigación.

## CAPÍTULO II: MARCO CONCEPTUAL

### 2.1. Definición del sostenimiento de taludes.

El sostenimiento de taludes es un método constructivo usado cuando una edificación requiere la existencia de sótanos. Su función principal es soportar los empujes laterales producidos por el suelo y las cargas de las edificaciones vecinas para evitar derrumbes o fallas por inestabilidad de taludes. Esta función es temporal debido a que trabajan en su cien por ciento solo durante la fase de excavaciones. En el momento que se desarrolla la fase de estructuras, los muros compartirán las cargas laterales con las losas de los sótanos, formando de esta manera el sistema de sostenimiento total de la estructura.

Entre otras funciones que presentan estas estructuras se encuentra evitar los asentamientos excesivos entre el terreno colindante y el terreno propio. El sistema de sostenimiento de taludes se encarga de minimizar los asentamientos diferenciales entre los dos terrenos de manera temporal hasta que la fase de estructuras esté completada y se pueda mantener sostenida uniformemente la estructura. En caso el terreno vecino posea algún tipo de edificación, el sostenimiento de taludes evita que esta se asiente, un deber vital para estas estructuras ya que un asentimiento excesivo diferencial en la estructura vecina la puede llevar al colapso. Finalmente, también cumple la tarea de minimizar la entrada de humedad al terreno, limitar de manera ordenada el área de trabajo y proteger al personal en caso de movimientos sísmicos.

### 2.2. Tipos de sostenimiento de taludes.

Según el tipo de suelo, la magnitud de la construcción, el volumen de excavación, la altura de cada anillo y las condiciones del terreno se escogerá el método constructivo a aplicar en la obra. En nuestro medio tenemos tres diferentes métodos.

#### 2.2.1. Estabilización de talud sin protección.

Este poco utilizado en el medio local debido a la inseguridad que representa uso. Ninguna municipalidad otorga la licencia de construcción a un proyecto que no presente una estructura de refuerzo temporal para los taludes, ya sean calzaduras o muros pantalla. Adicionalmente, la configuración urbana en que se desarrollan las obras no permite el uso de este método debido a la estrechez de los terrenos.

En los proyectos que se desarrolla este método son proyectos cuya profundidad de excavación no es mayor a 3m. Esta es un medida estándar que corresponde a un

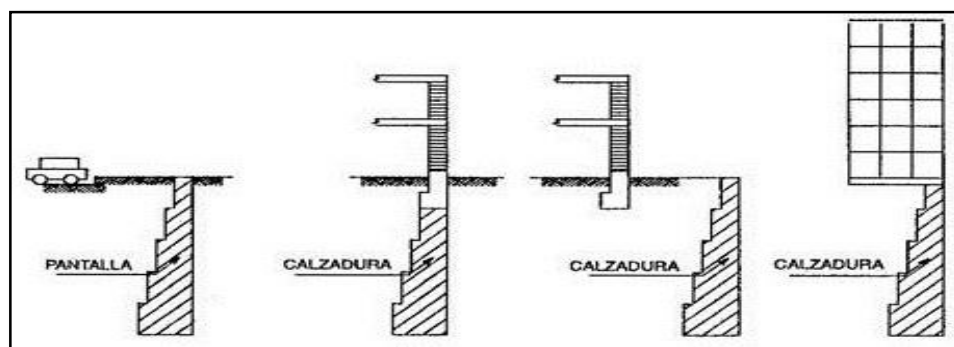
profundidad promedio para 1 sótano; sin embargo, no deberían utilizarse ya que es un método inseguro. Normalmente para esta profundidad se optan por calzaduras.

También se necesita un talud estable para la utilización de este método. Un talud estable está representado por la relación H:V = 1:2 para suelos granulares como el suelo de la ciudad de Lima.

### 2.2.2. Calzaduras.

Las calzaduras son estructuras provisionales diseñadas y construidas para sostener las cimentaciones vecinas y el suelo del corte expuesto, el cual es producido por las excavaciones efectuadas. Son un método de sostenimiento de taludes bastante común en la ciudad de Lima. Su función es resistir temporalmente el empuje lateral del suelo y transmitir las cargas verticales de la cimentación o del terreno vecino a los estratos inferiores hasta llegar al suelo, de esta manera protegemos a las edificaciones vecinas de posibles asentamientos diferenciales que puedan causar daños a sus estructuras. Adicionalmente, son un elemento que brinda seguridad frente a fallas por inestabilidad de los taludes vecinos.

Una característica principal de la calzadura es que su ejecución es fuera de los linderos del terreno. El elemento entero irá en el subsuelo del terreno vecino. En tanto, se le deberá pedir permiso al propietario del terreno vecino para ejecutar este método y por llegar a un acuerdo de algún tipo de compensación. Inicialmente, se deben tomar fotos del estado en que se encuentra la propiedad antes de empezar a calzar y verificar constantemente si empiezan a aparecer asentamientos. En caso estos aparezcan y la propiedad comience a presentar grietas, se debe parar el procedimiento constructivo y hacer consulta inmediata con el ingeniero estructural. Adicionalmente, las calzaduras, al estar completamente bajo el terreno vecino, nos generan la ventaja de poder utilizar al 100% el terreno de nuestra obra.



**Fig. 2.1.** Corte de calzaduras típicas.

(Fuente: Material del curso: Construcción de Edificaciones - 2012)

Otra característica de las calzaduras es que su base se va ensanchando conforme van descendiendo los niveles. A mayor profundidad se necesita una base más ancha para poder soportar los empujes laterales del terreno y las cargas verticales que van aumentando. Se genera la ventaja de que se puede mejorar la capacidad portante de esta cimentación, ya sea ampliando su base o buscando un estrato de suelo más resistente a una mayor profundidad.

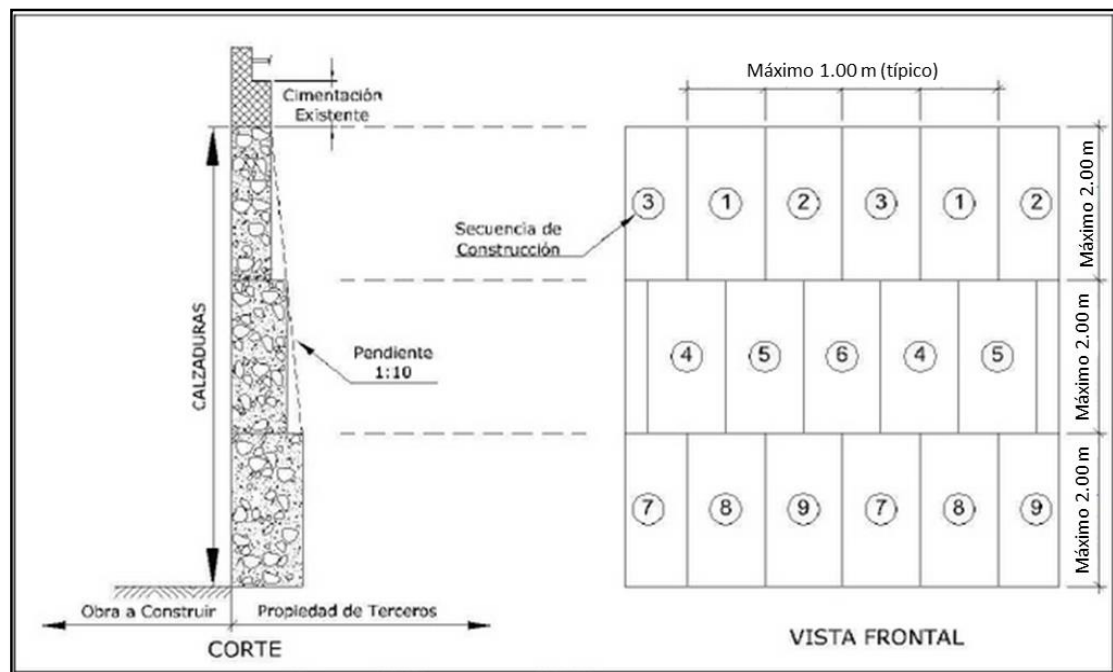
Una restricción que poseen las calzaduras es la profundidad a la cual pueden llegar. En primer lugar, esto se debe a que mientras más profunda sea la cimentación mucho más concreto se deberá usar en los niveles inferiores de la calzada ya que la base se debe ensanchar cada vez que se alcanza un mayor profundidad por diseño. También se debe a un tema de seguridad ya que las calzaduras, al ser de concreto ciclópeo, no resistirían las presiones del suelo en los niveles inferiores por más que se le ensanche la base. Las dimensiones que generan los cálculos son totalmente imprácticas para la construcción debido a los altos costos que conllevaría construir las. Debido a esto, es recomendable que a partir de 2 a 3 niveles de sótanos (6 – 9 metros de profundidad de excavación) se busque otro método de sostenimiento.

Un factor que se debe tomar en cuenta para el uso de las calzaduras es el suelo en cual se van a construir. En Lima tenemos la ventaja de tener un suelo altamente cohesivo, el cual nos permite hacer cortes al terreno de tres a seis metros sin mucho riesgo de derrumbe, el talud siempre guarda una apariencia vertical. Esta cohesión se ve afectada ante la presencia de agua. El agua disminuye la capacidad portante entre la cimentación y el suelo, además aumenta los empujes del suelo enormemente. Esta fuerza incrementa tanto que puede lograr el colapso de una calzada aún apuntalada. Es por esto que ante la presencia de agua no se recomienda usar calzaduras. Normalmente, cuando algún lindero de nuestro terreno limita con jardines amplios o lugares donde la vegetación indique que habrá abundante presencia de agua, se opta por construir muros pantalla. En caso sea inevitable la presencia de agua en el terreno donde se ejecutarán las calzaduras, se deben instalar redes de drenaje para minimizar los efectos de este agente.

Las vibraciones se presentan como un factor similar al agua. Su presencia puede eliminar la cohesión la entre el suelo y la calzada. También aumentan la presión que ejerce el terreno. Por esto se las toma en cuenta al momento de elegir si se usarán calzaduras o no.

El proceso constructivo de las calzaduras es un procedimiento bastante común en la ciudad de Lima. Es un proceso secuencial de construir de un muro con un espesor variable. Inicia con un corte de terreno inicial de no más de 2m. Seguidamente, se procede a encofrar el paño con refuerzos de apuntalamiento que eviten desplomes en el momento que el concreto es vaciado. Se vacía el concreto y debido a que normalmente es concreto

ciclópeo (caso contrario, el estructural determina la resistencia de la mezcla) se puede desencofrar al día siguiente. Cuando se desencofra se pueden dejar los paños apuntalados. Al dejar los paños de esta manera, se genera la ventaja de necesitar calzaduras de menor espesor. Estos apuntalamientos son especificados por el ingeniero estructural en los planos. Sin embargo, si se desea usar apuntalamientos en las zonas más profundas, las dimensiones que estos deberán generarán una desventaja para el constructor. El proceso de construcción es un proceso en el cual se intercalan los paños (como indica la **Fig. 2.2.**), es secuencial a medida que se va generando la calzadura. Debe ser indicada por el ingeniero estructural. Al ser un proceso sencillo y repetitivo genera una buena curva de aprendizaje.



**Fig. 2.2.** Procedimiento constructivo de una calzadura.

(Fuente: Material del curso: Construcción de Edificaciones - 2012)

### 2.2.3. Muro de contención.

El muro de contención es el tercer método de sostenimiento de taludes que se presenta. Es el más usado hoy en día en la ciudad de Lima debido a que los proyectos de edificaciones requieren hoy en día llegar a profundidades de hasta 30m bajo tierra y por ende los otros dos métodos quedan totalmente descartados.

A diferencia de las calzaduras, estos muros son de concreto armado. Poseen una doble malla de refuerzo de acero que cumple la función de mejorar la resistencia del muro frente a los empujes del suelo. No transfieren las cargas verticales a los estratos inferiores,



solo trabajan lateralmente. Evitan la posibilidad de asentamientos verticales en las estructuras debido a su buena rigidez lateral.

Cabe resaltar que estos muros se encuentran en su totalidad dentro de nuestros límites de propiedad. La única excepción son los muros anclados, en los cuales el fierro usado para el anclaje queda dentro del subsuelo de la propiedad vecina como se verá más adelante.

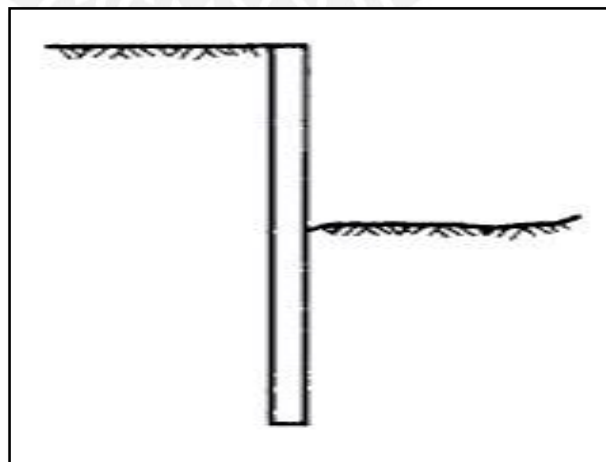
Los podemos encontrar en tres clases: pueden ser de en voladizo, apuntalados o anclados.

### 2.2.3.1. Muro en voladizo.

Es la primera clase de muro pantalla, aunque no muy utilizada en los proyectos de edificaciones en la ciudad de Lima. Se trata de una placa de concreto armado que no presenta mayor refuerzo que su doble malla de acero interna. Debido a su poco refuerzo, se limita a resistir bajos empujes laterales del suelo y cargas vecinas, por esto puede ser utilizado para uno o dos niveles de sótanos.

Este muro depende de su rigidez lateral, por tanto necesita un refuerzo en la base para poder resistir el momento generado por los empujes del suelo y las cargas que pueden existir en el terreno vecino.

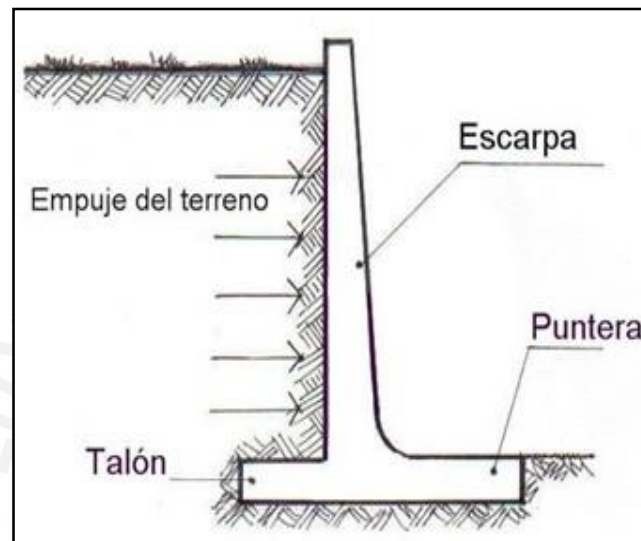
En primer lugar está la opción de enterrar la base del muro hasta una cierta profundidad en el suelo para generar un empotramiento que resistirá los momentos (Ver Fig. 2.3.).



**Fig. 2.3.** Muro pantalla en voladizo.

(Fuente: Material del curso: Construcción de Edificaciones - 2012)

Como segunda opción, se puede diseñar un zapata en la base del muro generando también un empotramiento que dará seguridad ante la posibilidad de volteo del muro (Ver **Fig. 2.4.**). De esta manera se puede generar un muro de contención, los cuales son normalmente usados para detener masas de tierra u otros materiales sueltos. Son útiles para la construcción de carreteras o en la construcción de una casa (no más de un sótano) para evitar que el talud vecino falle.



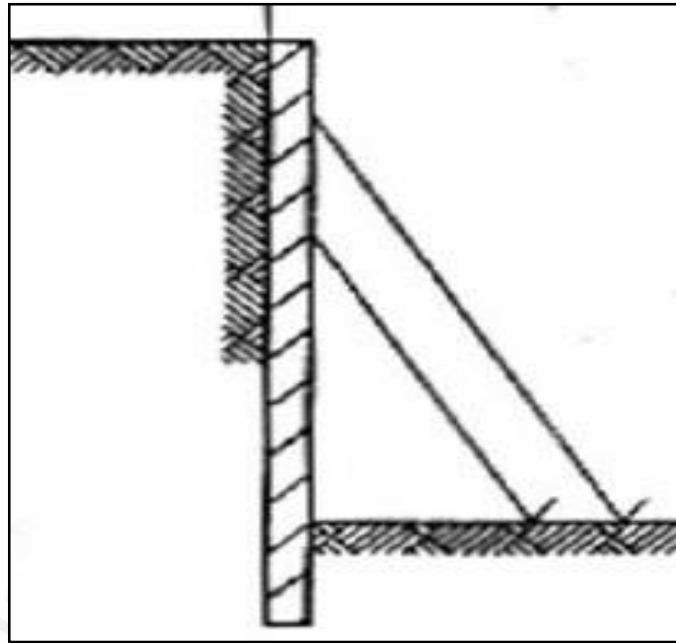
**Fig. 2.4.** Muro de contención.

(Fuente: Material del curso: Construcción de Edificaciones - 2012)

### 2.2.3.2. Muro apuntalados.

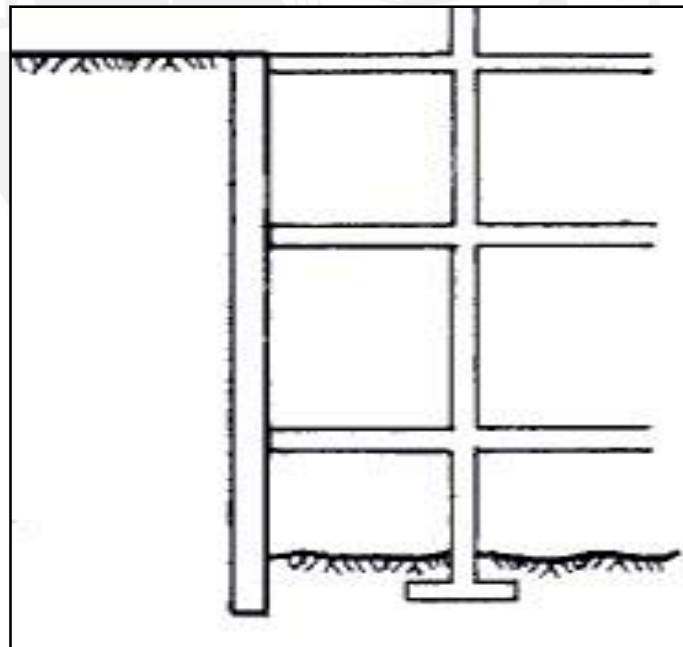
Es el segundo tipo de muro pantalla que se puede encontrar en un proyecto de edificaciones. Tiene una configuración similar a los muros pantalla en voladizo con la diferencia que no presenta una extensión en su base para generar empotramiento. Entonces la manera con la cual se resisten los empujes del suelo y los momentos generados por ellos es con un sistema de apuntalamientos que se colocan en la cara de los muros (Ver **Fig. 2.5.**). Los apuntalamientos se dejan hasta que el sistema estructural completo, conformado por las losas de sótanos más los muros, este completamente construido (Ver **Fig. 2.6.**).

Este sistema puede servir para una mayor cantidad de sótanos que los muros en voladizo, siempre siendo apuntalados inmediatamente luego de ser desencofrados. Pero no se recomienda que se use este sistema cuando el proyecto requiere una cantidad de sótanos mayor a 3 niveles (9 a 10m de profundidad de excavación). Esto se debe a que mientras más profunda sea la excavación, más fuertes serán los empujes del suelo, en tanto se necesitarán mayor cantidad de apuntalamientos y mayores dimensiones de estos, de manera que el área de trabajo se verá afectada considerablemente.



**Fig. 2.5.** Muro pantalla apuntalado.

(Fuente: Material del curso: Construcción de Edificaciones - 2012)



**Fig. 2.6.** Estructura final de soporte.

(Fuente: Material del curso: Construcción de Edificaciones - 2012)



### 2.2.3.3. Muro con anclaje temporal (Muro anclado).

Este es el tercer y último tipo de muro pantalla. Es el más usado en los proyectos de edificaciones de la ciudad de Lima y es el tema central de estudio de esta investigación. Su popularidad se debe a la posibilidad de poder construir hasta 9 o 10 niveles de sótanos brindándonos un funcionamiento óptimo y un ahorro notable en costos y en tiempo. Su composición es principalmente una placa de concreto armado, vaciada in-situ, junto con un anclaje postensado de refuerzo en medio de ella.

Estos muros pueden ser de dos tipos: permanentes o temporales. Serán permanentes cuando el anclaje se mantenga tensado durante toda la vida útil de la estructuras. También se pueden considerar permanentes cuando los anclajes cumplen con un tiempo de servicio de dos o más años. Esta clase de muros se pueden encontrar cuando cumplan con la función de sostener un terreno que presente masas de tierra o algún otro material suelto cuya configuración no le permita mantener la pendiente deseada naturalmente. En este cumpliría la función de trabajar como un muro de contención. En segundo lugar, se le denomina temporal cuando el anclaje es destensado en cierta parte de la vida útil de la estructura. Esto ocurre en la construcción de sótanos, en donde el anclaje es destensado al momento en el cual se completa la estructura total que soportará el terreno, es decir los muros más las losas de techo de los sótanos se encargarán de soportar los empujes del suelo. También se destensan los cables para que el propietario del terreno en el cual quedaron enterrados los cables de acero pueda tranquilamente realizar excavaciones en el lugar y cortar los aceros. Se suele informarle al propietario del terreno contiguo sobre la instalación de estos muros y sobre los cables que quedaran enterrados y normalmente es esta persona quien se quede con estos paquetes de fierro en caso llegue a excavar hasta el nivel en donde se encuentran.

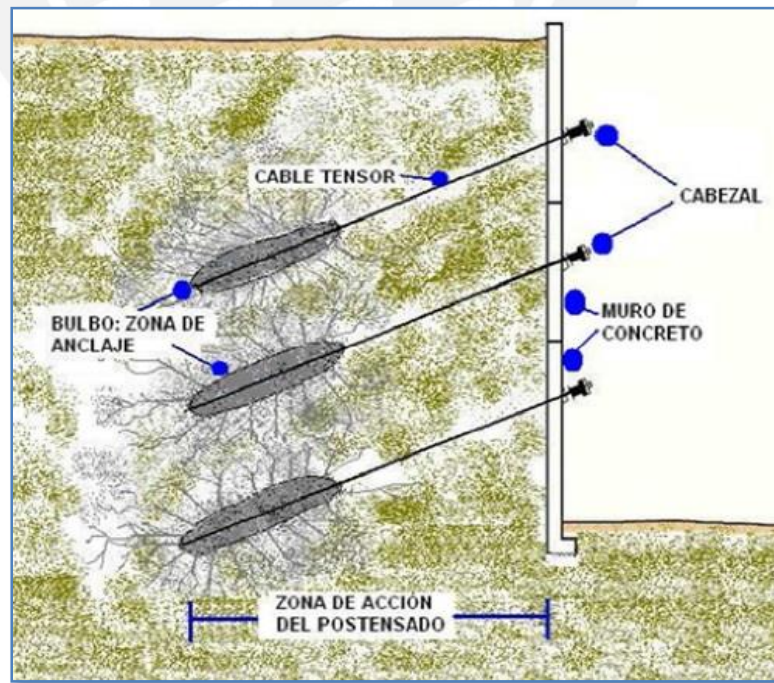
La constitución de estos muros no es compleja, los muros trabajan junto con el sistema de anclajes para darle una mejor estabilidad vertical a la estructura, resistiendo los empujes del suelo y minimizando el ingreso de agua a la zona de trabajos.

El sistema de anclajes está compuesto por paquetes de fierros tensados luego del vaciado del muro. Para un muro anclado permanente estos anclajes lleva una protección anticorrosión desde el diseño, siendo este revestimiento un aspecto fundamental para el desempeño del muro. Se realiza tanto para la zona del bulbo como para la zona de longitud libre. Se pueden también implementar sistemas de retensado, en caso sea necesario, o revisar periódicamente la resistencia a las cargas de servicio. Para un muro anclado temporal, estos factores de seguridad son menores debido a que el fierro pasará a ser destensado cuando la estructura este completa. Su tiempo de vida útil es corto, trabaja hasta que los proyectos completan la construcción de las losas de techo. Para un proyecto

de 30m de profundidad de excavación el tiempo aproximado es un poco menos de un año. No hay necesidad de realizar re-tensados ni verificar las cargas de servicio.

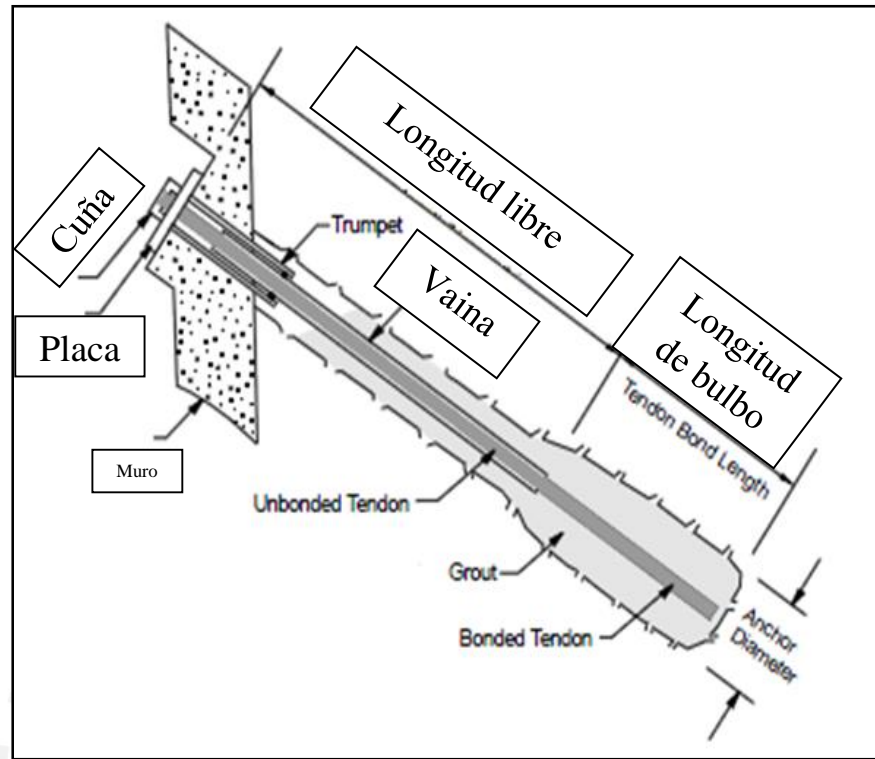
Existen distintos tipos de anclajes de terreno para un sistema de muros anclados. Distintos tipos de barras de fierro usadas para el tensado que dependen del diseño estructural. En el caso de sostenimiento de taludes se usan cables metálicos, los cuales son recubiertos con un tubo metálico, que es inyectado, junto con estos cables, en el terreno durante la perforación del mismo. Se rellena con una mezcla de cemento llamada *grout*, el cual crea un bulbo permitiendo el anclado y tensado de los cables. El *grout* es una mezcla de cemento, arena, agua y grava fina.

El sistema de anclaje está conformado por tres secciones: la cabeza del anclaje o cabezal, la longitud libre y la longitud de bulbo (Ver **Fig. 2.7.**). El cabezal es la zona en contacto directo con el muro, consta de un placa de apoyo en la cual se sostiene la cuña, la cual es la encargada de mantener tensionados a los paquetes de fierros. La zona libre es la siguiente. Su ubicación es entre el cabezal y la zona de bulbo. En esta zona ubicamos a los tubos metálicos que van como recubrimiento a los paquetes de fierro, también conocido como vaina, los centradores, los cuales se encargan de que los cables se ubiquen dentro de la vaina proveyéndoles de un recubrimiento de grout mínimo, y el tendón. Finalmente, la zona del bulbo es la zona más alejada al muro, en esta zona es donde se deja un bulbo de concreto que es necesario para que los paquetes de fierro se puedan tensar.



**Fig. 2.7.** Detalle del sistema de anclajes.

(Fuente: Publicación de la empresa Terratest 2014)



**Fig. 2.8.** Detalle de la sección de anclaje.  
(Fuente: Terratest 2013)

## CAPÍTULO III: MÉTODO DE LOS MUROS ANCLADOS

### 3.1. Situación actual en el mercado de la construcción.

A lo largo de los últimos años, el método de los muros anclados se ha abierto paso dentro de los proyectos de edificaciones hasta llegar a ser el más usado en el medio para realizar el sostenimiento de taludes. El aumento de su utilización se debe a la demanda de sótanos que hoy en día se tiene en la ciudad de Lima. Las municipalidades están requiriendo que los proyectos inmobiliarios brinden un mayor número de estacionamientos a los próximos usuarios, es por esto que ver proyectos cuya relación de número de sótanos con número de pisos es de uno a dos aproximadamente ya se ha vuelto algo común en nuestro medio, especialmente en edificios de oficinas es donde se presenta este caso. De igual manera, los edificios destinados a viviendas también presentan un aumento en el número de sótanos, sobre todo en los distritos considerados para las clases A y B+, pero no a la misma magnitud que los edificios para oficinas. Entonces, los muros anclados poseen una gran ventaja a comparación de los otros métodos de sostenimiento de taludes ya que presentan una gran capacidad de soportar mayores presiones horizontales y poder trabajar en presencia de agua, características que sus competidores no pueden igualar. Cabe resaltar que los muros anclados no necesitan aumentar su espesor significativamente conforme se van construyendo a mayores profundidades, las fuerzas son casi tomadas en su mayoría por los anclajes. Se suele aumentar cada 2 anillos de excavación (aprox. 6 m), 5 cm en su espesor. El ingeniero estructural es quien determina estos espesores.

La facilidad que representa el proceso constructivo de los muros anclados es otro factor que influye a favor cuando se elige que método de sostenimiento de taludes se va a utilizar. El proceso constructivo es bastante repetitivo debido a que el contratista constructor se dedica a construir las placas de concreto armado y el proceso constructivo de los anclajes es dejado a una subcontrata especializada en este tema. También, durante la etapa de excavación, presenta la ventaja de no necesitar mucha eliminación de material ya que el muro no ingresa en el terreno vecino y con un perfilado es más que suficiente.

Fuera del ámbito de proyectos de edificaciones, los muros anclados presentan otras aplicaciones. Por ejemplo, dentro de las obras de infraestructura los podemos encontrar en estabilizaciones de presas de concreto, estabilizaciones de cortes de taludes de carreteras, estabilizaciones de taludes naturales, refuerzos en las paredes de túneles, entre otros. También podemos utilizarlos para compensar las subpresiones que se pueden generar debajo de las piscinas, tanques de agua o cualquier otra estructura enterrada.



### 3.2. Conceptos básicos de diseño de muros anclados.

En esta sección se verá de manera superficial el diseño de los muros anclados debido a que temas estructurales y geotécnicos no entran en el alcance de esta tesis. Se verán conceptos que todo ingeniero constructor debe tener en conocimiento para entender ciertas actividades en el proceso constructivo de los muros anclados y que puedan tener un control adecuado de éstas.

#### 3.2.1. Consideraciones estructurales para el diseño de los muros anclados.

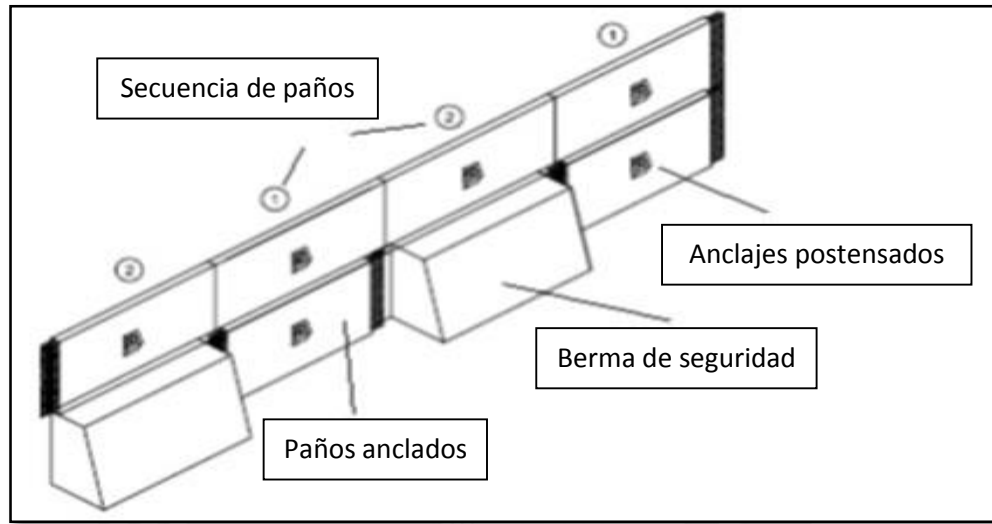
En la ciudad de Lima, en la mayoría de distritos, encontramos suelos constituidos en mayor parte por grava con una matriz de arena, cuya característica es tener una buena capacidad portante, característica que permite hacer excavaciones profundas sin mayores problemas. Gracias a estas propiedades del suelo se han podido y se siguen usando las calzaduras. Al momento de diseñar la calzadura se trabaja con factores de seguridad menores a los usados en los muros de contención normales, factores usados frente al volteo y desplazamiento, debido a que las calzaduras se consideran obra provisionales. Aun cuando una calzadura este bien construida y diseñada, existe la probabilidad que las edificaciones vecinas sufran pequeñas fisuras. Esto ocurre debido a que para que la calzadura trabaje como tal, se presenta una grieta superficial en la cara que está en contacto con el terreno generando un plano de falla, el cual origina un empuje activo. Si se tratan de dos niveles de sótanos o menos, este empuje puede considerarse nulo, debido a que la cohesión aparente del suelo gravoso de Lima supera al empuje teórico. Cuando se requiera una profundidad mayor de excavación, como ocurre hoy en día, la situación se puede complicar generando las fisuras. Para evitar que las propiedades vecinas se vean afectadas, se toma a los muros anclados como solución.

La construcción del muro se da de manera independiente, intercalada, con excavaciones parciales en la zona de los paños. Se procede con el proceso constructivo del paño hasta llegar a su tensado final luego de ser vaciado y que el concreto llegue a la resistencia requerida por las especificaciones técnicas. Luego de terminar con el primer nivel de paños se puede empezar con la excavación del segundo. En algunos casos, donde el área de excavación es amplia y lo permite se puede empezar con la excavación del siguiente nivel en un eje mientras que se sigue construyendo el otro eje.

Los paños son diseñados normalmente de 3m de altura por 4.5m a 5m de largo. Los fierros de la armadura requieren sobresalir unos 50cm por los lados y por la zona inferior al muro para poder generar los empalmes. En caso exista una estructura al costado del área de excavación, es peligroso excavar paños de 3m x 5m en nuestro primer nivel ya que no se está calzando adecuadamente el terreno vecino. En estos casos se recomienda usar paños de máximo 2.5m para el primer nivel.

### 3.2.1.1. Consideraciones estructurales para el diseño de los muros de sótano.

Los muros anclados son muros de concreto armado vaciado in-situ cuya construcción está distribuida por paños intercalados y su función es resistir los empujes del terreno. Al ser construidos por paños, se realizan excavaciones parciales en la zona de los paños dejando una berma de seguridad en la zona que aún no se ha construido (Ver Fig. 3.1.).



**Fig. 3.1.** Detalle de secuencia de ejecución de los paños.

(Fuente: Material del curso: Construcción de Edificaciones - 2012)

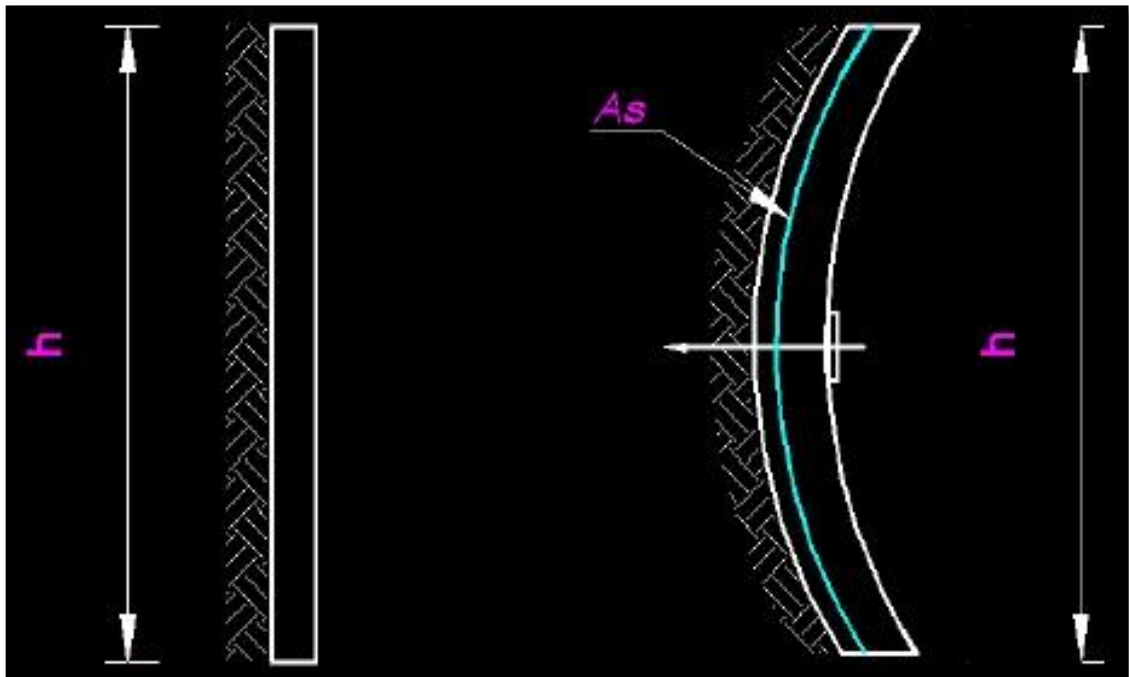
La construcción de los paños implica que los estos trabajen en diferentes estados, desde el estado inicial hasta el estado final de servicio. Podemos definir tres etapas de diseño: cuando se aplica la fuerza de anclaje al paño, cuando se aplica la fuerza de anclaje al paño adyacente y cuando las losas de techo contribuyen y se pueden liberar los anclajes.

#### 3.2.1.1.1. Primera etapa.

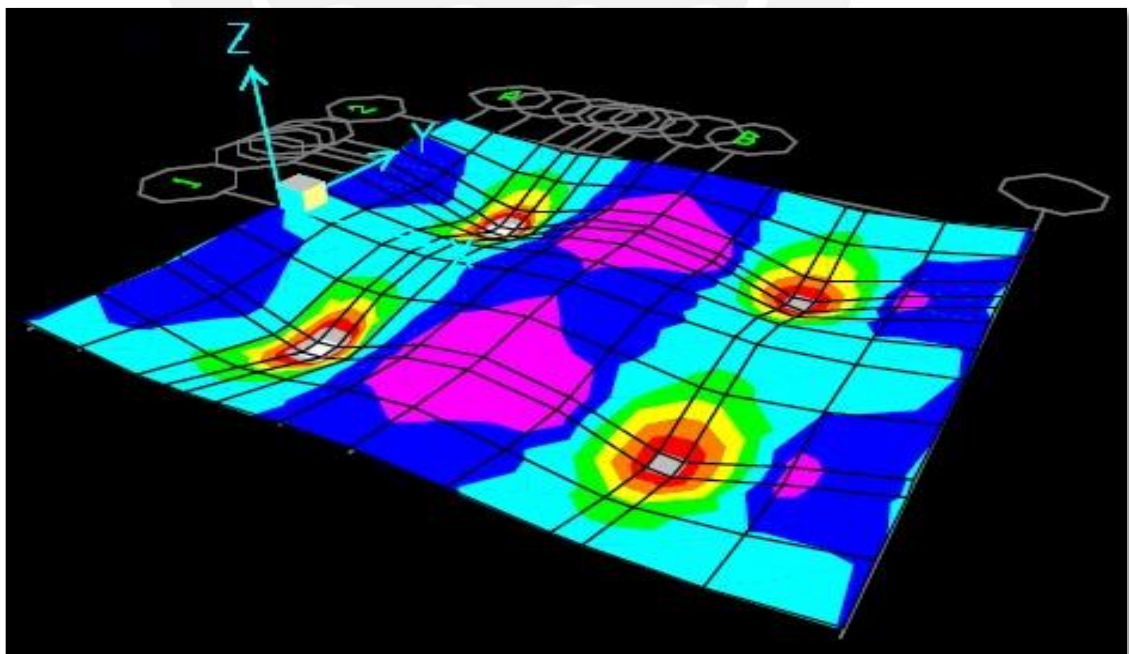
En la etapa inicial se analiza el paño de manera individual de manera a que se plantea que el muro este sometido a una fuerza que lo obligue a comportarse como una zapata flexible. El fierro es calculado en la cara interior como volados (Ver Fig. 3.2.). Al ser tomado como un elemento flexible, las presiones del terreno se concentran en la zona del anclaje. De esta manera, el elemento presenta una fuerza puntual más que una distribución uniforme, lo cual es supuesto en el caso de zapatas rígidas.

Se tiene que escoger un módulo de balasto del suelo para poder estimar la manera en la cual este reaccionará sobre el muro. Normalmente usamos un programa de cómputo

considerando una losa apoyada en resortes cometida a la carga del anclaje distribuida en un área igual a la plancha del mismo (Ver **Fig. 3.3**).



**Fig. 3.2.** Estado inicial del paño y después del tensado.  
(Fuente: Blanco 2012)



**Fig. 3.3.** Simulación de los paños con las fuerzas concentradas en los anclajes.  
(Fuente: Blanco 2012)

Ya obtenida la presión ejercida por el suelo en el muro, se diseña el volado por flexión simple siguiendo las direcciones vertical y horizontal. El fierro se ubicará en la cara en contacto con la tierra ya que según el modelo esa será la zona donde aparezcan las tracciones.

También se deberá verificar el punzonamiento que la plancha ejerce sobre el muro de concreto. Para obtener la sección crítica en la cual ocurrirá el punzonamiento, se considera una sección ubicada a “d/2” de las caras de la plancha. Generalmente las planchas son de 30cm x 30cm. Puede que esta verificación del punzonamiento determine la dimensión de los muros, siempre y cuando la magnitud de las fuerzas concentradas en los anclajes sean menores.

La siguiente tabla muestra el valor recomendado de espesor que debe tener un muro frente a un determinado número de sótanos. Estos valores son tomados para alturas normales de piso a techo (aprox. 3m) y tomando en cuenta que se construirá en el suelo de Lima.

**Tabla 3.1.** N° de sótanos vs. Espesores de los muros.

N° de sótanos	Espesor (cm)
2 – 3	30
4	40
5 – 6	45
7 – 8	50 – 55

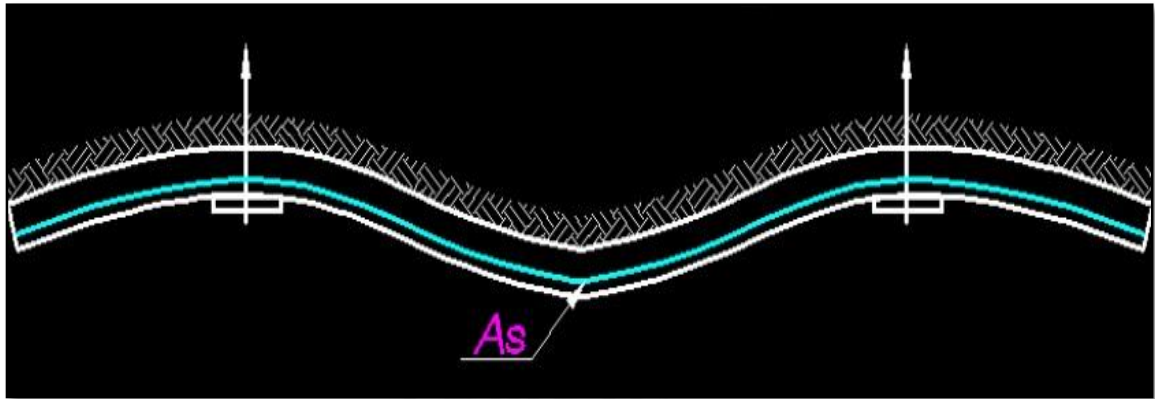
Esto no significa que si en un proyecto se construirán ocho sótanos, todos los muros, desde el primer nivel, tendrán espesor 50cm. Los espesores irán aumentando gradualmente conforme se van aumentando los anillos de excavación acorde a los espesores mostrados en la tabla.

### 3.2.1.1.2. Segunda etapa.

En esta etapa se analizarán dos paños adyacentes en los cuales están aplicadas las fuerzas de sus anclajes. Los muros trabajarán como losas sin vigas. Durante la ejecución del primer anillo se podrán considerar como losas macizas, en la cual va a existir una franja más reforzada. Cuando ya se construya el anillo inferior el muro se modelado como losas sin vigas bidireccionales donde tendremos varias franjas más reforzadas. Esta configuración responde al comportamiento teórico del muro en las primeras etapas; no obstante, en obra es poco práctico que se tengan distintos fierros en la zona de refuerzo, por esto se busca uniformizar el diseño. Cabe recordar que la carga actuante sigue estando en la zona de los anclajes, debido a esto en esta zona si se genera un refuerzo especial, la



cajuela. Para el diseño, se calcula el acero necesario en la cara exterior del muro (Ver **Fig. 3.4.**).



**Fig. 3.4.** Acero en la zona de empalme de los muros.  
(Fuente: Blanco 2012)

### 3.2.1.1.3. Tercera etapa.

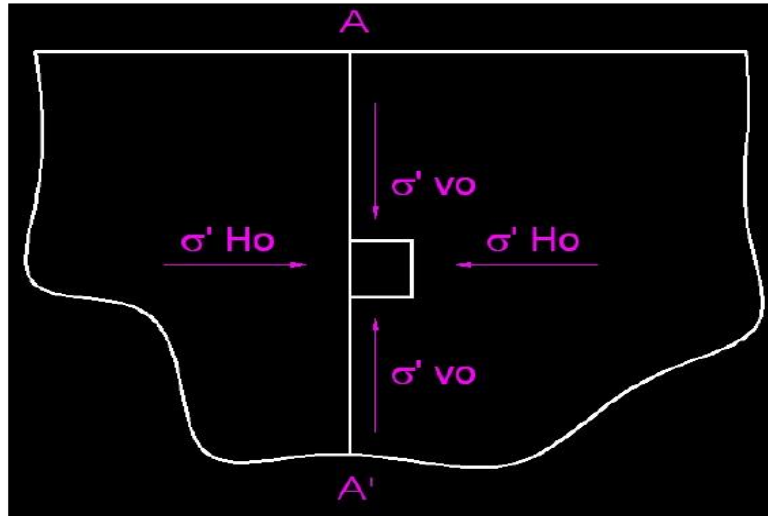
Esta es la etapa final del diseño en la cual se considera que ya no hay anclajes y la estructura comparte las cargas con las losas de techo de los sótanos. Se asume que ya se construyeron la cimentación, columnas, placas, losas, etc. Cabe la posibilidad que se aumente el refuerzo de acero de los muros en este estado. Se considera que el refuerzo de acero deba ser únicamente para soportar los esfuerzos de flexión ya que para los cortantes basta con la resistencia ejercida por el concreto.

Un método de diseño es considerar una malla para la cara en contacto con el terreno vecino, la cual debe cumplir con el cálculo para la etapa inicial. Seguidamente, se debe diseñar el fierro vertical que vaya en la cara que a nuestro terreno, el cual deberá cumplir con las solicitudes de la etapa media y la final. Finalmente, se calculará una malla de refuerzo en la zona de los anclajes, la cual debería poseer una cuantía menor a la primera etapa del diseño.

### 3.2.1.2. Consideraciones estructurales para el diseño de los anclajes.

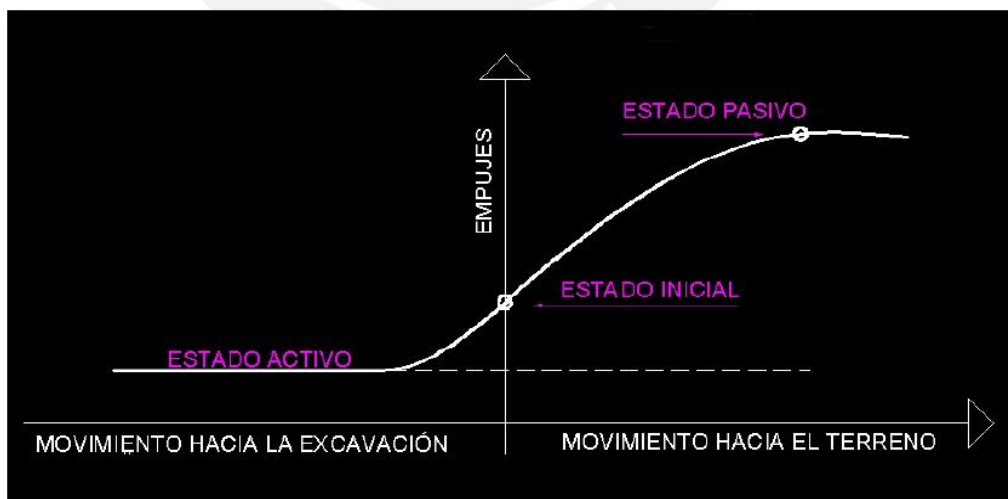
Para explicar el diseño de los anclajes se hará un enfoque más geotécnico. Un elemento diferencial de suelo está sometido a presiones verticales y horizontales (Ver **Fig. 3.5.**). Durante el proceso de excavación, se simula que el corte del terreno hasta la línea A-A, dejando a la cara izquierda del diferencial sin soporte, con lo cual el muro tenderá a moverse debido a las presiones iniciales que siguen haciendo efecto. La ventaja que posee la grava de Lima es que mantiene el equilibrio para cortes de terreno no tan altos. El

terreno experimenta una disminución en los esfuerzos de la derecha hasta llegar a un valor permanente conocido como estado activo.



**Fig. 3.5.** Diagrama de cuerpo libre de un diferencial de suelo.  
(Fuente: Blanco 2012)

Una vez que el muro ya fue vaciado, la mezcla del concreto ejercerá una fuerza tanto para el encofrado como para el terreno. El terreno de la misma manera generará una reacción hacia el concreto aumentando los esfuerzos hasta llegar a una estabilización conocida como estado pasivo. En la **Fig. 3.6.** se analiza en una gráfica la variación de los empujes horizontales que generan estos estados límites: activo y pasivo. Representa los dos extremos de presiones que el terreno experimenta con los muros de contención.

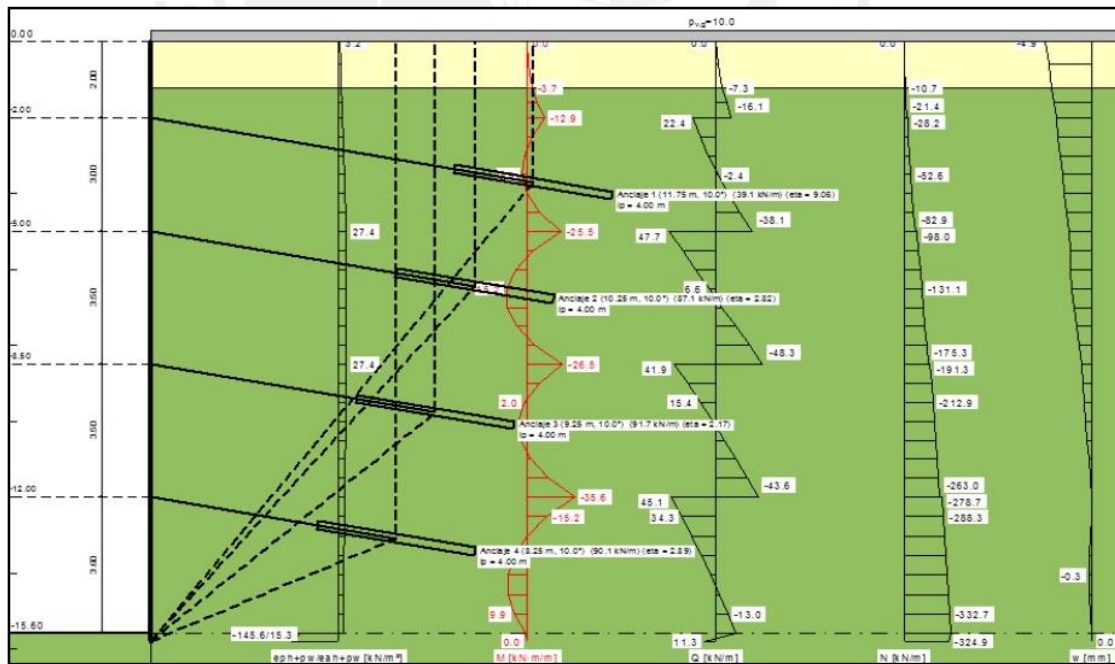


**Fig. 3.6.** Gráfica de estados límites del terreno.  
(Fuente: Blanco 2012)

En la etapa de excavación se debe conocer el empuje activo ya que es el estado al cual tiende el muro durante la etapa de construcción. Durante el tensado de los anclajes, se conocerá el empuje pasivo ya que el anclaje producirá que el muro presione el terreno.

La siguiente secuencia es la recomendada para realizar el diseño de los anclajes:

1. En primer lugar, se debe ubicar la zona de falla del terreno para prolongar la zona libre de tal manera que el bulbo se encuentre fuera de esta zona ya que si se ancla el terreno en esta zona, éste se encontraría propenso a una falla.
2. Seguidamente, se realizará el cálculo de las cargas de anclajes. Estas cargas pueden ser halladas por distintos métodos, por ejemplo el método de equilibrio límite. Este método considera al muro como una viga en voladizo, sobre la cual se colocan todas las solicitaciones de cargas, y a los anclajes como apoyos simples permitiendo de esta manera realizar un análisis estático para encontrar las reacciones en los apoyos, las cuales vendrán a ser las cargas de los anclajes, los diagramas de fuerzas y momentos en los muros y finalmente las deformaciones de estos. Se pueden usar software para facilitar el cálculo de estas fuerzas como el GGU-RETAIN (Ver Fig. 3.7.).



**Fig. 3.7.** Diseño en el programa GGU-RETAIN de los muros anclados del proyecto “Edificio Cipreses”.  
(Fuente: Terratest 2012)

3. Lo siguiente es diseñar la longitud del anclaje que comprende la longitud libre y la longitud del bulbo. Esta es la etapa de más cuidado en el diseño ya que los esfuerzos de anclaje es resistido por la adherencia entre el grout y el suelo, y esta a su vez depende de la longitud del anclaje. Los cálculos pueden ser desarrollados con la teoría de Kranz, la cual modela un esquema de rotura en la cual puede calcularse la fuerza de tracción que originaría un deslizamiento en conjunto. Se le aplica un factor de seguridad de 1.5-2.0 frente al deslizamiento.
4. Se calcula la carga permisible de la tensión del tendón.
5. Finalmente, se diseñan el espaciamiento horizontal y vertical de los anclajes y su inclinación. Esta normalmente varía entre  $10^\circ$  y  $15^\circ$  dependiendo del grosor del cable (normalmente se usan cables de 15mm o 0.6" de diámetro), la longitud libre y la del bulbo.

Suele ocurrir que la empresa subcontratista encargada de los anclajes sea la que realice el diseño de estos. Entonces, debe existir una comunicación constante entre los proyectistas de la fase de estructuras, los proyectistas que se encarguen de los muros de concreto y los encargados de los anclajes para que sus diseños siempre estén acordes los unos con los otros. Esto es de suma relevancia ya que la posición de los anclajes, las cargas en los muros, la resistencia de los muros para que puedan ser anclados y la resistencia para distintas etapas pueden ser factores que definan o cambien todo el diseño de los muros.

### **3.3. Construcción de los muros anclados.**

#### **3.3.1. Consideraciones durante el proceso constructivo.**

El muro anclado funciona temporalmente como el elemento estructural encargado de soportar los empujes laterales generados por el terreno y las cargas de las edificaciones vecinas hasta el momento en que se construyen las losas, a partir de ese momento las cargas se reparten. Su función final es funcionar como los muros perimetrales de la estructura definitiva. Debido a la función inicial que tienen estos muros, llevarán la armadura definitiva desde un principio, incluido el refuerzo de armadura en la zona del anclaje conocida como *cajuela*.

El proceso constructivo de todo un anillo de muros está dado por partes. La construcción de los muros es un proceso intercalado, en el cual la buena práctica indica que no se deben vaciar paños mayores a 10m. Por este motivo, se deben dejar colocados los empalmes para los muros contiguos e inferiores; del mismo modo, se deben dejar los puntos de conexión para las futuras losas de techo, columnas y vigas (en caso vayan

embebidas a los muros). Las columnas que formen parte de los muros también llevarán una armadura definitiva y serán construidas de arriba hacia abajo conforme avanza la construcción de los muros.

En el primer anillo de excavación, se debe tener la siguiente consideración. Luego de construir los primeros muros intercalados, se procede con la excavación y próxima construcción de los muros secundarios, los cuales vendrían a completar el anillo. La longitud de estos paneles dependerá de las estructuras en el terreno vecino. En caso existan estructuras de gran altura o muros que parezcan muy frágiles se tratará de disminuir la longitudes de estos paneles para evitar que ocurran asentamientos en la estructura vecina.

Para el proceso constructivo de los muros se debe tener un tren de actividades perfectamente coordinado entre la subcontrata, encargada de la perforación, tensado y destensado de los anclajes, y el equipo de producción del proyecto. Debe existir una excelente organización para los trabajos de excavación, perforación, construcción y tensado en mira de poder pasar al siguiente procedimiento constructivo según el plan de actividades. Al trabajar de manera segura podemos lograr grandes profundidades de excavación sin dañar las estructuras vecinas. Se debe evitar hacer cortes de terreno mayores a lo que la especificación geotécnica nos indica para poder brindarles la seguridad necesaria a los trabajadores de la obra.

Una vez que las losas de techo de los sótanos son capaces de resistir los empujes del terreno vecino, se destensan los anclajes. En consecuencia, los anillos de muros irán siendo destensados conforme la estructura va subiendo hasta llegar al primer nivel. De esta manera, los muros serán diseñados para resistir por ellos mismo la carga vecina en la etapa constructiva y con el soporte de las losas de sótanos.

### **3.3.2. Proceso constructivo.**

A continuación, se presenta el procedimiento tradicional de construcción de los muros anclados:

#### **3.3.2.1. Excavación masiva y con rampa.**

Se inicia realizando el corte inicial del terreno. Se ejecuta la excavación masiva que dará lugar al primer anillo de muros (Ver **Fig. 3.8.**). Para comenzar con esta actividad se debe realizar una inspección de los muros perimetrales de los edificios vecinos para verificar estabilidad. Durante el desarrollo de esta actividad se debe tener cuidado en dejar las bermas de seguridad para que estas puedan soportar el talud vecino durante la construcción de los primero anillos.



La rampa es la primera opción que se tiene para iniciar con las excavaciones y la eliminación del material. Aunque tiene la desventaja de que a mayor profundidad, más paños de muros quedarán atrapados detrás sin construir, por esto luego se pasa eliminar material con una faja transportadora.



**Fig. 3.8.** Excavación masiva Proyecto Panorama.  
(Fuente: Propia)

### 3.3.2.2. Perforación del terreno.

El siguiente procedimiento es la perforación del terreno. La subcontrata encargada de los anclajes es quien desarrolla esta tarea. Generalmente se utiliza un Casing o encamisado (tubo de revestimiento), siendo el mismo simultáneo y continuo durante la perforación. El diámetro de la broca es de 115mm máximo y para el escariado uno máximo de 152mm.

Terminada la perforación del terreno e instalado el tubo de revestimiento, se procede con la extracción de barras de perforación y martillo DTH de la misma y se selecciona el anclaje. Antes de instalar el anclaje, se hace una limpieza interna del terreno con una hidrocompresora, la cual bombea agua a presión para eliminar todo el detritus que se puedan encontrar en el interior de la perforación. Finalmente, se instala el anclaje.

### 3.3.2.3. Lechada de cemento en la perforación.

Se procede con el relleno con lechada de cemento, la cual es una suspensión de agua-cemento en relación 0.40 – 0.45 y generalmente sin aditivos superfluidificantes. Esta se pueda realizar desde la boca de la perforación en caso no existe nivel freático dentro de la misma. En caso el exista nivel freático, el relleno se realizará con lechada mediante vainas de inyección, desde el punto inferior de la perforación, desplazando de esta manera el agua hacia la zona superior de la perforación. La colocación del anclaje es realizado por el personal de obra ya que este es un material frágil.

### 3.3.2.4. Instalación del cabezal de inyección.

Seguidamente, se procede con la instalación de un cabezal de inyección (con conexión abierta a la atmósfera) sobre los tubos de revestimiento. A continuación, se procederá a la extracción de las camisas de revestimiento. Durante la extracción se podrá inyectar lechada a presión por el cabezal superior y se controlará que ésta no se filtre en el terreno incontroladamente en la zona de espacio a anular.



**Fig. 3.9.** Trabajos de perforación en el Proyecto Panorama.  
(Fuente: Propia)

### 3.3.2.5. Perfilado del terreno.

Se procede a realizar un perfilado en el terreno, el cual consiste en dejar el terreno con el talud verticalmente afinado. De la precisión del trabajo depende que el terreno no se sobre excave y se tenga un desperdicio de concreto. En el perfilado también se dejan marcados los puntos en los cuales se realizarán las perforaciones. Se usa una estación total para tener una mayor precisión en el marcado o si se realiza manualmente se recomienda colocar tres plomadas para verificar la verticalidad.

Para asegurarlo momentáneamente se le hecha una lechada de cemento (mezcla de cemento más agua) con balde. Este proceso crea una cierta consistencia en el suelo, de baja magnitud ya que el aporte estructural de este proceso es casi despreciable, no es su principal función. El pañeteo se realiza con el fin de evitar que el terreno gane o pierda humedad y también para evitar desmoronamientos ligeros, puesto que la que la cohesión del suelo está vinculada con la humedad presente en este. Este es un paso que no se puede omitir porque en el diseño se toma un valor de cohesión del suelo, el cual si se ve afectado, puede hacer que peligre la estabilidad del terreno.

### 3.3.2.6. Colocación de la armadura.

Finalizado el proceso de perforación e inyección, es el turno de la cuadrilla de acero. Ellos se encargan de montar la armadura del muro pantalla, la cual es similar a cualquier placa de concreto armado con la excepción de que lleva un refuerzo conocido como cajuela en la zona del anclaje. Este refuerzo ayudará a que el muro no se agriete al momento en que sea tensado. Encima de la armadura irán unos tacos de concreto que sirven para dejar el recubrimiento necesario entre el encofrado y las mallas de acero. Se suele tener un recubrimiento de 2.5cm a 4cm para muros anclados. Se debe tener en consideración:

- Colocación de acero de refuerzo y tubo de PVC a 15° para el anclaje: El tubo se coloca para que resista la fuerza de concreto cuando es vaciado y no dañe los cables de tensado. El refuerzo en la zona cercana a las mechas del anclaje es de vital importancia ya que estas servirán para el tensado de los cables, es por esto que se protege este espacio.
- Colocación de mechas para futuras losas: De acuerdo a los planos estructurales, se dejan las mechas de las losas de los sótanos para posteriormente ser traslapadas y tejidas.
- Aplomado de malla con ayuda de Topografía: El refuerzo debe ser perfilado para que la estructura sea orientada de manera correcta. Los topógrafos se ayudan de una estación total para mejorar la calidad de su trabajo.



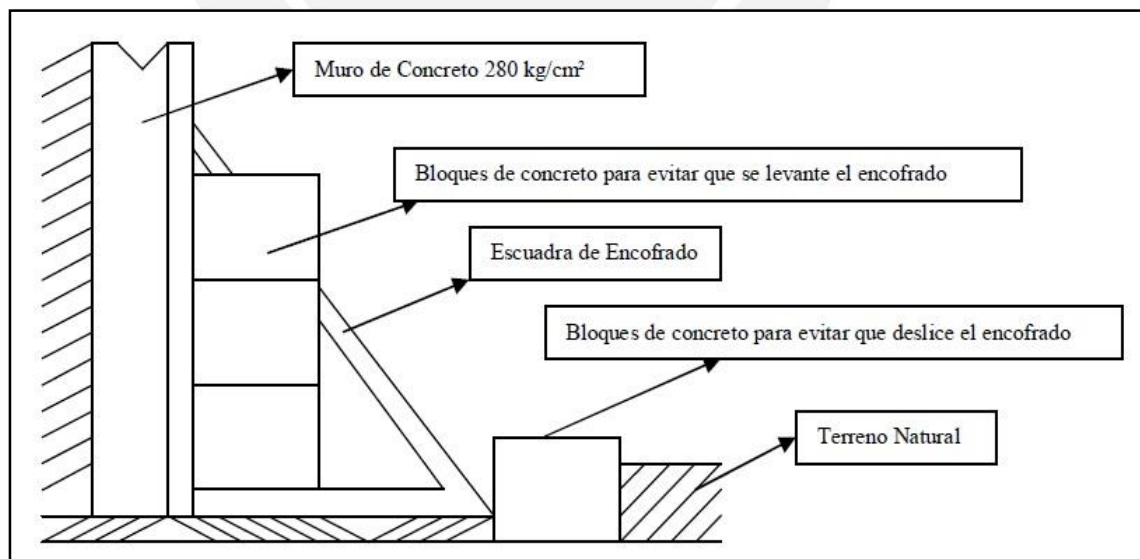
- Relleno con material en la zona inferior del acero de las mechas: Se busca evitar que las mechas cedan ante la fuerza del concreto al vaciarse, por esto se ponen dados de concreto o retazos de acero para acero que la parrilla no se hunda.

### 3.3.2.7. Colocación del encofrado.

El siguiente paso es colocar el encofrado. Este es un proceso al cual se le debe prestar mayor cuidado en comparación a otros elementos a encofrar, ya que se encuentran riesgos que en los demás casos no suceden.

La fuerza que ejerce la mezcla de concreto es muy alta, tanto que puede vencer a un encofrado común. Por esto se busca reforzarlo con apuntalamientos. El problema viene cuando se va avanzado descendentemente en el proceso constructivo de los muros, puesto que entre más profundo sea el nivel en el que nos encontremos, más difícil será poder encontrar puntos de apoyo que sirvan para estabilizar el encofrado por la misma distribución del terreno y las pendientes que se generan.

Para los muros en contacto con el suelo, su encofrado consta de un juego de paneles de metal para la cara de contacto y un juego de escuadras que servirán como apuntalamiento (Ver **Fig. 3.10.**), sobre las cuales se colocan bloques de concreto para un mejor refuerzo. Estos bloques son elaborados con concreto ciclópeo. Sus dimensiones dependen del encofrado, aunque usualmente son de 0.60m x 0.60m x 1.60m. Son colocados entre las escuadras para evitar que el refuerzo ceda.



**Fig. 3.10.** Esquema de encofrado típico de un muro anclado.  
(Fuente: Brioso 2012)

Los paneles son muy sencillos de tratar ya que vienen en paños, los cuales pueden ser transportados por una grúa torre o por un telehandler, y se deben armar de tal forma que encajen en el muro, dejen fluir correctamente el concreto y no dañen los anclajes instalados.

El sistema de apuntalamiento está diseñado para poder resistir la presión ejercida por el concreto. Para su armado se necesitan andamios, en los cuales todos los trabajadores deberán usar un arnés de seguridad.

El sistema planteado en la **Fig. 3.10.** es el más recomendado. Los bloques de concreto evitan tanto los desplazamientos horizontales y verticales de los paneles de encofrado. Gracias a que se entierran estos bloques, los desplazamientos horizontales disminuyen. De misma manera, los bloques superiores aseguran que no existan desplazamientos verticales.

Al estar en una profundidad considerable, los puntos de apoyo ya son escasos, por esto se utilizará el material de excavación para que cumpla esta tarea. Es recomendable hacer la cama de material lo más alto posible ya que se tiene un mejor seguro en torno a los desplazamientos horizontales, los cuales se convierten en desplomes del muro.

#### **3.3.2.8. Vaciado de concreto.**

El diseño del concreto que se usará en los muros será realizado contemplando que se necesitará hacer un tensado de los anclajes, debido a que estos producen punzonamiento. El valor o resistencia de tensado lo define el proyectista en función del tamaño de la placa de fijación y de la carga de tensado. El uso de concreto acelerado es particular al plan de cada obra, no es una práctica usual.

El valor de tensado en el proyecto fue  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$  definido por el proyectista de muros anclados. Para este caso se utilizó concreto con acelerante de fragua a las 24h y a las 72h para asegurar el flujo en el tren de actividades.

El vaciado del concreto se puede ejecutar de tres maneras dependiendo de las posibilidades del vaciado: con el mixer ingresando al proyecto y botando el concreto con carretilla cuando nos encontramos en los primeros niveles de excavación, con el uso de una bomba de concreto cuando la excavación no sea muy profunda y con el uso de la grúa cuando estemos en los muros finales.

Debido a que la altura media desde la cual es vaciado el concreto es de 3.5m – 4m, se requiere de un vibrado cuidadoso. Esta actividad nos asegura una buena densidad del concreto al llevar las burbujas de aire atrapadas de la mezcla al exterior, eliminando de

esta manera las burbujas y en segundo plano las cangrejeras. Adicionalmente, asegura reducir la segregación que podría aparecer en la base. También se pueden usar aditivos en el concreto para minimizar la necesidad de vibrado.

### 3.3.2.9. Desencofrado, curado y picado del muro.

Para el desencofrado de los muros se sigue el siguiente orden: primero se retirarán los bloques de concreto y, seguidamente, se retirarán las escuadras, planas, andamios y puntales.

En el retiro de los bloques se utiliza un cargador frontal para, primeramente, retirar el material que se utilizó de refuerzo en el encofrado. Seguidamente, se utilizará una grúa torre, un telehandler o algún otro tipo de equipo de acarreo para mover los bloques y liberar el encofrado, en caso el terreno lo permita (Ver **Fig. 3.11.**). En otro caso se puede utilizar la torre grúa para el retiro de los bloques, siempre teniendo en cuenta las cargas que pueda soportar la grúa. Para el retiro de los demás elementos del encofrado podemos utilizar de la misma manera tanto cargador frontal como la grúa.



**Fig. 3.11.** Desencofrado usando cargador.  
(Fuente: Propia)

Una vez retirado el encofrado, se procede a ejecutar el curado a la cara del concreto. Este curado sirve para minimizar los efectos de la retracción plástica del concreto. Esta retracción sucede en las horas siguientes al vaciado del concreto, mientras aún la pasta de cemento es aún plástica y el endurecimiento no ha comenzado, la evaporación de esta agua generan grietas en el concreto. El curado se ejecuta al día siguiente del vaciado, de esta manera evitamos que aparezcan fisuras en los muros (Ver **Fig. 3.12.**). Se recomienda ejecutar un curado químico ya que tiene una mayor eficiencia al solo necesitar ejecutarlo una vez a la cara del muro, también este tipo de curado cumple su función más rápidamente reemplazando el agua perdida en la retracción plástica.



**Fig. 3.12.** Curado de muros.  
(Fuente: Propia)

En las zonas de las costuras de los muros irán las losas de entrepiso de los sótanos. Para poseer una uniformidad en el muro se ejecuta su picado y un posterior resane.

#### **3.3.2.10. Resane de los muros en la zona de anclaje.**

Al momento de retirar el encofrado, se debe ejecutar un resane en la superficie del hueco destinado a los anclajes por ser una superficie irregular, lo cual es un impedimento para que se transmita de manera adecuada la fuerza del tensado a los anclajes de un manera correcta.





**Fig. 3.13.** Resane necesario en la zona de los anclajes.

(Fuente: Propia)

#### **3.3.2.11. Tensado de anclajes.**

El procedimiento de tensado se debe realizar una vez ejecutado el anclaje y también se debe verificar que haya pasado el tiempo necesario para que la lechada en el bulbo haya alcanzado la resistencia adecuada para que pueda soportar las fuerzas del anclajes.

En primer lugar, se ejecuta una limpieza del cable del anclaje y de la superficie de apoyo de la estructura de contención. Se retirará la vaina que protege a los cables de anclaje, junto con los restos de concreto o materiales existentes. La superficie de apoyo del muro debe estar perfectamente lisa para permitir la instalación correcta de la placa de apoyo, es por esto que se ejecuta un resane previo a esta superficie.

Seguidamente, se debe verificar el ángulo de apoyo del anclaje. Este sistema debe ser adecuado para el ángulo formado entre el anclaje y el muro con una desviación máxima permitida entre el anclaje y el sistema de apoyo de  $\pm 3^\circ$ .

Se verifica la disponibilidad de espacio requerido por el gato hidráulico para poder realizar el tensado de forma óptima. El espacio necesitado será de acuerdo a los requerimientos del equipo, además se debe verificar la longitud adicional de los cables de anclaje, debe cumplir con los requerimientos mínimos puestos por el equipo, el cual es 80cm. Adicionalmente se debe disponer de una plataforma de trabajo suficiente para que el personal maniobre el gato hidráulico y realice las mediciones correspondientes. El

ancho mínimo para la plataforma debe de ser de 2.5m desde el muro hacia la excavación y la altura del anclaje hasta esta plataforma no debe exceder de 1.5m.

Luego de instalar la plataforma se realiza la instalación de la placa de apoyo. Esta placa de apoyo debe de ser de 320x320x25mm con una perforación central de 65mm para cabezas porta cuñas de 3 o 4 cables. En los casos que se necesite una cabeza porta cuñas para 7 cables se deberá emplear una placa de 350x350x32mm con una perforación central de 90mm. En demás casos se pueden definir las dimensiones con el área de ingeniería de la subcontratista encargada de los anclajes. La cabeza de las cuñas se instalará de manera correcta en el sistema de apoyo. Se evitará y corregirá las desviaciones que experimenta el sistema debido a la tensión.

Para la realización del tensado se debe verificar la posición del gato de tensado. Esta debe estar correctamente apoyada sobre la cabeza del anclaje, evitando el apoyo en las cuñas de tensado.

Se debe corroborar que las cuñas sean compatibles para la cabeza porta cuñas. Este requisito se cumple si es que las cuñas pueden penetrar completamente en la cabeza porta cuñas, en caso contrario se debe utilizar silla de tensado. También se verificará que estas cuñas sean las adecuadas para el tipo de cable que compone el anclaje postensado.

### **3.3.3. Variante al proceso constructivo: Muro pasante.**

El muro pasante es una variante al proceso constructivo de los muros anclados en la cual la inyección, tensado y destensado del muro se ejecuta luego de la construcción del mismo. Los pasos de construcción se ejecutan de misma manera con la diferencia que se deja un pase en la zona donde irán los anclajes en vez de ejecutar la perforación e inyección de la lechada. El proceso prosigue con la construcción de los muros de manera regular, dejando un relleno de tecnopor en lugar de los anclajes.

Luego de vaciado el muro, se espera que el concreto llegue a la resistencia requerida por el ingeniero estructural y se ejecuta el proceso de perforación, inyección y tensado de los anclajes. El proceso de destensado se ejecutará de igual manera junto con los demás muros.

Este proceso se ejecuta cuando hay variantes en el tren de actividades que provocan que se construyan los muros antes de que la subcontratista de anclajes haya ejecutado los procedimientos de perforado e inyección. No es dable que se ejecuten los muros anclados en los primeros anillos o en paños cuyos vecinos no estén construidos por un tema de seguridad.



**Fig. 3.14.** Espacio dejado para una posterior inyección.  
(Fuente: Propia)

### **3.4. Relevancia dentro del proyecto.**

Se sabe que los muros anclados son esenciales para la ejecución de los proyectos, por esto se presenta cuán importantes son en términos de presupuesto y de plazos de ejecución. La información es tomada como muestra del proyecto Panorama Plaza Negocios.

#### **3.4.1. Relevancia en el presupuesto.**

En primer lugar se analizará el impacto de tener muros anclados en el presupuesto del proyecto, para esto en la **Tabla 3.1.** se presenta un resumen de los costos parciales. Los muros anclados se encuentran dentro del grupo presupuestal de Estructuras, siendo este el grupo más influyente dentro del presupuesto, debido a que representa el 38% del costo directo de la obra. La partida de Acabados le sigue en porcentaje debido a que el proyecto contempla dejar en casco toda la edificación, mas libre de acabados en las oficinas ya que estos serán ejecutados por el propio cliente. El acabado de las áreas comunes si entra en el alcance del proyecto. A continuación se presenta un aproximado de los valores monetarios de los diferentes grupos presupuestales que entran en el alcance del proyecto.



**Tabla 3.2.** Costos parciales de las especialidades involucradas en el proyecto.

DESCRIPCIÓN	PARCIAL S/.
OBRAS PROVISIONALES	10,500,000.00
<b>ESTRUCTURAS</b>	<b>69,000,000.00</b>
ACABADOS	49,000,000.00
INSTALACIONES ELECTRICAS	16,000,000.00
INSTALACIONES SANITARIAS	3,000,000.00
PROTECCION CONTRA INCENDIO	4,000,000.00
INSTALACIONES MECANICAS	13,000,000.00
SISTEMA DE DETECCION Y ALARMA	1,000,000.00
SISTEMA CCTV	2,000,000.00
SISTEMA DE AUTOMATIZACION	1,500,000.00
SISTEMA GLP	400,000.00
SISTEMA DE CONTROL DE ESTACIONAMIENTO Y GUIADO	1,500,000.00
SISTEMA DE RIEGO	180,000.00
SISTEMA CONTROL DE ACCESOS	1,500,000.00
MUSICALIZACION	400,000.00
PTAG	250,000.00
ASCENSORES Y ESCALERAS MECANICAS	7,000,000.00
<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>180,230,000.00</b>

Seguidamente, se presenta en detalle los costos parciales de los procesos constructivos involucrados dentro de la partida de Estructuras en la **Tabla 3.2**. Se presenta únicamente el detalle del costo aproximado de los muros anclados, su sistema de sostenimiento, el cual está compuesto por los anclajes y su proceso constructivo, y los muros de contención, los cuales son mínimos en el proyecto, ubicados en el eje colindante a una edificación vecina.

**Tabla 3.3.** Resumen del grupo presupuestal **Estructuras**.

Ítem	Descripción	Und.	Parcial (S/.)
<b>01</b>	<b>ESTRUCTURAS</b>		<b>69,000,000.00</b>
<b>01.01</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>		<b>5,500,000.00</b>
<b>01.02</b>	<b>OBRAS DE CONCRETO SIMPLE</b>		<b>500,000.00</b>
<b>01.03</b>	<b>OBRAS DE CONCRETO ARMADO</b>		<b>57,000,000.00</b>
<b>01.03.03</b>	<b>MURO ANCLADO</b>		<b>3,000,000.00</b>
01.03.03.01	Pañeteo de talud	m2	69,000.00
01.03.03.02	Concreto $f'c=280\text{kg/cm}^2$ – Muro anclado	m3	1,350,000.00
01.03.03.03	Encofrado y desencofrado metálico – Muro anclado	m2	500,000.00

01.03.03.04	Tecnopor (Cajuelas)	ml	30,000.00
01.03.03.05	Escarificado para traslape con losa de techo	m2	18,000.00
01.03.03.06	Acero de Refuerzo $f_y=4200\text{kg/cm}^2$ (acero en varilla)	kg	850,000.00
01.03.03.07	Refuerzos en zona de anclaje	kg	150,000.00
01.03.03.08	Curado de concreto	m2	33,000.00
<b>01.03.04</b>	<b>SISTEMA DE SOSTENIMIENTO DE MUROS</b>		<b>3,000,000.00</b>
01.03.04.01	Suministro e instalación de sistema de anclaje de muros	glb	2,985,000.00
01.03.04.02	Movilización y Desmovilización de equipos de perforación	glb	15,000.00
<b>01.03.05</b>	<b>MUROS DE CONTENCION A 2 CARAS</b>		<b>10,000.00</b>
01.03.05.01	Concreto $f'_c=500\text{kg/cm}^2$ - Placas	m3	2,300.00
01.03.05.02	Encofrado y desencofrado metálico (hasta 4.00m) – Placas	m2	2,500.00
01.03.05.03	Acero de refuerzo $f_y=4200\text{kg/cm}^2$ (Acero Dimensionado)	kg	5,000.00
01.03.05.04	Curado de concreto	m2	200.00
<b>01.04</b>	<b>ESTRUCTURAS METALICAS</b>		<b>2,000,000.00</b>
<b>01.05</b>	<b>PARTIDAS ADICIONALES</b>		<b>4,000,000.00</b>

El costo total para este paquete partida que representan al procedimiento constructivo de los muros anclados es aproximadamente de S/.6,000,000.00, un monto bastante significativo y que daría la idea que un anillo de muros representaría un costo aproximado de S/.660,000.00 (9 niveles de sótanos en el proyecto). Al ser comparado con el costo total directo del proyecto se obtiene que el proceso constructivo de esto muros representa el 3.3% del costo directo total del proyecto.

De manera puntual se puede notar que los muros anclados no representan un porcentaje significativo dentro del presupuesto; sin embargo, al ser un monto cercano a seis millones de nuevos soles no deja de ser un valor importante y que es tomado en cuenta al momento de buscar alguna alternativa que disminuya este costo para el contratista. Bajo este sentido, esta tesis busca minimizar los costos innecesarios en el proceso constructivo de los muros anclados, como suelen ser los resanes en los encuentros de losas de entrepiso, el escarificado necesario para el vaciado de las losas de techo de los sótanos, el resane en las caras de los muros dañadas por incidencia de cangrejeras, burbujas, las juntas verticales generadas en las intersecciones de los muros y demás no conformidades en el proceso constructivo.

### 3.4.2. Relevancia dentro del plazo de ejecución.

De misma manera se analizará la cantidad de tiempo invertido para el desarrollo de los muros anclados en el proyecto.

En la **Tabla 3.3.** se puede observar de manera resumida el tiempo de duración del proyecto y el tiempo de ejecución de cada una de las partidas involucradas. Solamente la partida de muros anclados toma 175 días útiles para ejecutarse, representando el 33% del tiempo total de ejecución del proyecto. Se despliega la pestaña de la misma para un mayor detalle.

**Tabla 3.4.** Resumen del cronograma de obra.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo programado	Fin programado
<b>EDIFICIO PANORAMA (No incluye levantamiento de observaciones)</b>	<b>536 días</b>	<b>vie 25/10/13</b>	<b>jue 03/12/15</b>
Inicio de Obra	0 días	vie 25/10/13	vie 25/10/13
<b>OBRAS PRELIMINARES</b>	<b>41 días</b>	<b>vie 25/10/13</b>	<b>lun 23/12/13</b>
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>	<b>179 días</b>	<b>mar 12/11/13</b>	<b>vie 25/07/14</b>
<b>ESTABILIZACION</b>	<b>135 días</b>	<b>mié 13/11/13</b>	<b>lun 26/05/14</b>
<b>CONCRETO ARMADO</b>	<b>397 días</b>	<b>sáb 16/11/13</b>	<b>jue 11/06/15</b>
<b>MUROS PANTALLA</b>	<b>175 días</b>	<b>sáb 16/11/13</b>	<b>vie 25/07/14</b>
Anillo 01	21 días	sáb 16/11/13	lun 16/12/13
Anillo 02	10 días	sáb 07/12/13	vie 20/12/13
Anillo 03	10 días	sáb 28/12/13	lun 13/01/14
Anillo 04	10 días	lun 13/01/14	dom 26/01/14
Anillo 05	79 días	lun 20/01/14	lun 12/05/14
Anillo 06	69 días	lun 10/02/14	lun 19/05/14
Anillo 07	54 días	lun 03/03/14	lun 19/05/14
Anillo 08	64 días	lun 31/03/14	lun 30/06/14
Anillo 09	68 días	lun 21/04/14	vie 25/07/14
Rampa	98 días	lun 20/01/14	lun 09/06/14
<b>SOTANOS Y EDIFICIO</b>	<b>281 días</b>	<b>lun 05/05/14</b>	<b>jue 11/06/15</b>
<b>DISIPADORES SISMICOS</b>	<b>132 días</b>	<b>mié 11/02/15</b>	<b>mar 18/08/15</b>
<b>ACABADOS</b>	<b>299 días</b>	<b>vie 03/10/14</b>	<b>jue 03/12/15</b>
<b>MURO CORTINA</b>	<b>140 días</b>	<b>mar 14/04/15</b>	<b>jue 29/10/15</b>
<b>INSTALACIONES</b>	<b>314 días</b>	<b>jue 14/08/14</b>	<b>mié 04/11/15</b>
Fin de Obra	0 días	jue 03/12/15	jue 03/12/15

Cabe resaltar que el proceso constructivo de los primeros anillos (Anillos 1 al 4) fue mucho menor en cuestión de tiempo de ejecución en comparación de la construcción de los anillos inferiores (Anillos 5 al 9). Esto ocurrió por dos motivos:

- En primer lugar, al iniciar la excavación masiva se puede contar con una rampa dentro del proyecto para facilitar el acceso de volquetes hasta las zonas de excavaciones. Normalmente se puede utilizar rampa hasta el segundo o tercer anillo de excavación para evitar pendientes muy empinadas que los volquetes cargados de material no puedan subir, pero debido al gran terreno que ocupa el proyecto (7300 m<sup>2</sup>) y además que la geometría rectangular del lugar lo permitía al poseer un lado significativamente mayor al otro, la rampa pudo ser utilizada hasta inicios de la construcción del quinto anillo. La forma alargada de un proyecto facilita el uso de rampas ya que se pueden trabajar mejor las pendientes. En este momento inicia el montaje de la faja transportadora, la cual acompañará la excavación hasta el último anillo. En este período de traslape entre el corte de la rampa y el montaje de la faja, el ratio de eliminación comienza a disminuir y continua de esta manera hasta que se concluye con los muros anclados. En el proyecto se plantearon utilizar dos fajas transportadoras para mejorar los volúmenes de eliminación durante los últimos anillos. El uso de dos fajas se pudo dar debido al área del proyecto, puesto que una faja no se daba el abasto suficiente y estar acarreado el material a un solo punto de acopio hubiera quitado mucho tiempo al planeamiento del proyecto. De misma manera se inician los trabajos de montajes de las cuatro grúas torre que se utilizan en el proyecto dificultando los trabajos de eliminación de material. Cabe resaltar que en el proyecto el ratio de eliminación de material con rampa es mayor a la eliminación con faja, llegando a picos por encima de los 2000 m<sup>3</sup> por día, mientras que en con la faja transportadora el volumen oscilo con un promedio de 800 m<sup>3</sup> por día.
- El otro factor viene dado por las restricciones de horario. Al inicio del proyecto se obtuvo una extensión de horario de trabajos hasta las 07:30pm, con lo cual se podía ejecutar una mayor cantidad de paños al día, pudiendo llegar a completar 4 paños por día. Incluso hubieron días en los cuales se logró perfilar, colocar las mallas de acero, encofrar y vaciar el paño el mismo día. A inicios de febrero esa extensión se denegó, limitando el horario de trabajo hasta las 05:30pm. Bajo estas limitaciones se planteó concluir con la construcción de los anillos ejecutando dos paños al día.

El tiempo destinado a todo el proceso de excavación y sostenimiento de taludes ha sido bastante influyente en el cronograma del proyecto, representando el 33% del tiempo

total de construcción del mismo. Es un total contraste con respecto a su influencia en el presupuesto, contraste que siempre ocurre debido a la variabilidad que se presenta durante el proceso de excavaciones, ya sea por la misma varianza que presenta su proceso constructivo o por la instalación de los equipos que acompañarán la construcción del casco del edificio. Cabe notar que solo para la excavación de los nueve sótanos se toma 179 días mientras que para su techado y posterior construcción de los 19 pisos se toma 281 días. Una vez terminada la excavación, los siguientes procesos son cíclicos y rápidos de ejecutar.





## CAPÍTULO IV: DESVIACIONES ENCONTRADAS EN EL ACABADO DE LOS MUROS ANCLADOS

### 4.1. Cangrejas.

#### 4.1.1. Definición.

Las cangrejas son espacios vacíos que resaltan en el acabado de los muros anclados o en cualquier tipo de elemento estructural. Se le denomina cangrejera cuando la armadura de refuerzo del elemento queda expuesta al aire libre, dejando a ésta libre de protección contra los agentes corrosivos. Esta desviación es un defecto por parte de la estructura en la cual el concentrado de los agregados gruesos genera los vacíos (Ver **Fig. 4.1.**).



**Fig. 4.1.** Cangrejera en muros anclados.

(Fuente: Propia)

Las cangrejas se originan por la disgregación de la mezcla del concreto al momento del vaciado, por la falta de vibrado, por usar un concreto de bajo slump en una zona muy copada de acero, por vaciar el concreto desde una altura mayor a 3m o por la fuga de la pasta de cemento al terreno en la zona inferior del encofrado.

En el proyecto se han presentado varios de estos problemas al inicio puesto que se estaba usando un concreto con slump de 6". Este slump se puede considerar adecuado



pero no se tuvieron en cuenta el factor de que el concreto necesitaba recorrer una tubería de más de 100m de longitud, y 200m en los puntos más alejados, desde la bomba de concreto hasta el punto de vaciado. El rozamiento generado entre las partículas de concreto y la tubería hace que el concreto pierda trabajabilidad ya que se genera mucho calor dentro de la misma. A esto se le sumaba el hecho de que gran parte del proceso constructivo de los muros fue en verano, generando problemas en los vaciados con atoros en la tubería y el posterior resultado en el acabado de los muros.

Otro factor que se pudo observar fue el problema de tener mucho acero en una zona, el cual impide la correcta vibración del concreto. Esta cangrejera se dio en la zona de refuerzo de los anclajes, la cual lleva una mayor cuantía de acero que el resto de la armadura para que pueda soportar las fuerzas del tensado (Ver **Fig. 4.2.**). En ese momento se suscitó el problema de que el proveedor de concreto premezclado se demoró en mandar mixers al proyecto, con lo cual se generó un tiempo entre vaciados significativos. El concreto ya vaciado continuó con su proceso de fraguado, entorpeciendo el vibrado de la mezcla a vaciarse en la zona de los anclajes, lo cual derivó en la cangrejera mostrada.



**Fig. 4.2.** Cangrejera en zona de anclaje.  
(Fuente: Propia)

La altura de vaciado también fue tomada en consideración para el cuidado durante el vaciado de los muros debido a que estos paños son de 3.15m de altura, a la cual se le debe sumar unos 50cm o más para poder instalar el chute y la plataforma de vaciado, llegando a alturas de casi 4m. El problema con la altura de vaciado es que el concreto se

disgrega más fácilmente generando las cangrejeras. También la pasta de la mezcla se puede escapar por las zonas inferiores del encofrado debido al gran peso que debe soportar por estas alturas, dejando agregados gruesos expuestos y cangrejeras en la zona inferior.

Para tratar de contrarrestar a las cangrejeras se tomaron medidas de control tales como aumentar el número de slump en el pedido de concreto. Se aumentó a un concreto con diseño de slump de 10” para que la mezcla recorra todo el camino de la tubería sin que la pérdida de trabajabilidad sea significativa. Se adquirió una aguja de vibrado de menor dimensión para que pueda ingresar en las zonas de mayor acopio de acero, buscando que el concreto llene todos los vacíos para que se eviten las cangrejeras.

El elemento estructural, en este caso los muros anclados, se ve afectado por la formación de vacíos que significa una cangrejera. Las zonas afectadas no poseen resistencia ante el dióxido de carbono, el agua y sales presentes. Al haber armadura presente es necesaria su reparación inmediata para evitar que corroa.

#### **4.1.2. Tolerancia.**

Según el “Manual de Tolerancias para Edificaciones” de GyM S.A. todas las cangrejeras deben resanarse ya que atenta contra la estructura dejar esos vacíos expuestos. Se considera cangrejera cuando el 10% del área total evaluada presenta daños y los vacíos poseen una profundidad de 1/5 del espesor del muro o la longitud del recubrimiento. En algunos casos se verá necesario hacer la demolición total del elemento, esto ocurrirá cuando el área afectada represente un valor mayor al 20% del área total de la estructura y la profundidad que hayan alcanzado los vacíos sean mayores a un quinto del espesor total del muro.

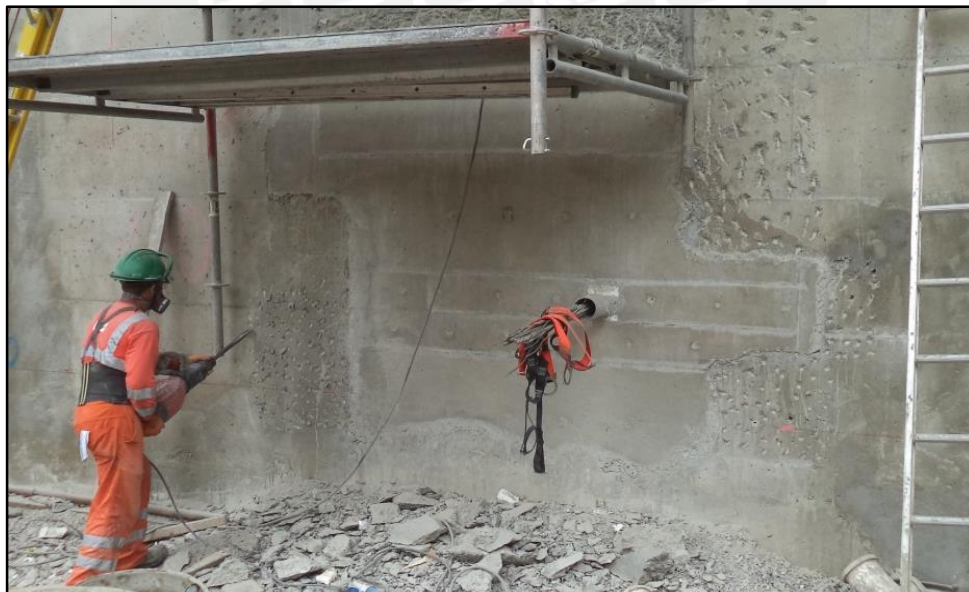
#### **4.1.3. Método de reparación.**

El proceso de reparación de las cangrejeras depende de cuan afectado se haya visto el elemento estructural. En algunos casos solo basta con realizar reparaciones superficiales, para esto los materiales usados son el mortero de cemento polímero o aditivos como el SikaGrout. También existen casos en los cuales se necesita hacer una demolición parcial o total del elemento para volverlo a rellenar con concreto. Por ejemplo en la **Fig. 4.3.** se muestra la demolición parcial que ocurrió en uno de los paños del proyecto.



**Fig. 4.3.** Demolición de muro por ocurrencia de cangrejera.  
(Fuente: Propia)

En este caso si se necesitó ejecutar el vaciado de nuevo para poder rellenar el vacío dejado por la demolición. Para poder ejecutar este procedimiento se escarifica los bordes del concreto ya fraguado.



**Fig. 4.4.** Reparación de muro dañado.  
(Fuente: Propia)



#### 4.1.4. Ocurrencia.

En el proyecto se tuvieron dos cangrejeras representativas, las cuales necesitaron ser resanadas para poder convertirse en muros entregables al cliente. Por otro lado, para evitar el aumento de las ocurrencias de estas cangrejeras, se utilizó un concreto con mayor trabajabilidad conforme los niveles de excavación iban aumentando. Se pidió un slump mayor para evitar disgregación de los elementos en la mezcla durante su transporte en la tubería. También se compró una manguera vibradora más largo (de 4m) para realizar un mejor vibrado en las etapas iniciales del vaciado, etapas en las cuales el concreto tiene una caída mayor a 3m.

#### 4.2. Burbujas.

##### 4.2.1. Definición.

Son reconocidos como hoyos de aire atrapado en la superficie del concreto, son formas expuestas y endurecidas en la cara del encofrado. Entre las posibles causas de su aparición se encuentran la cantidad de tiempo de vibrado de la mezcla y el uso de los desmoldantes para la limpieza de la cara de los muros.

Durante el proceso constructivo de los muros anclados, a pesar que se vibre óptimamente la mezcla, estos hoyos siempre tienden a aparecer en la superficie de los muros debido a un exceso de agua residual en la mezcla o el aire restante de la disgregación de materiales.



**Fig. 4.5.** Muro afectado con burbujas.  
(Fuente: Propia)

Las burbujas no solo afectan la parte estética de la superficie de los muros, si no también afecta negativamente la calidad de la superficie acelerando la pérdida de durabilidad del recubrimiento en el tiempo.

Las estructuras que son más propensas a la aparición de burbujas son en su mayoría las que tienen superficies inclinadas. En dichos elementos se dificulta la acción de vibrado lo que promueve la aparición de los hoyos. De misma manera cuando el concreto es de un fraguado rápido las burbujas tienen menos tiempo para poder escapar la superficie de la estructura. También, mientras mayor sea el recubrimiento, más difícil será que las burbujas escapen a la cara del encofrado.

#### **4.2.2. Tolerancia.**

Según el “Manual de Tolerancias para Edificaciones” de GyM S.A. un hoyo en la superficie del muro es considerado con burbujas cuando éstos poseen un diámetro mayor a 15mm o una profundidad mayor a 10mm. En tal sentido, un muro es considerado con burbujas cuando el 3% del área total de este muro presenta los hoyos o el 30% del área visible muestra una notoria afección por las burbujas. Si superan estos parámetros, los muros son considerados como **No Conformidades**.

En los primeros casos se requerirá realizar un resane puntual a los hoyos que hayan excedido la tolerancia, mayor uso de horas hombre o materiales no existe en estos casos. En caso sea una observación que afecte a todo el muro, se necesitará realizar el resane a toda la superficie el muro.

#### **4.2.3. Métodos de reparación.**

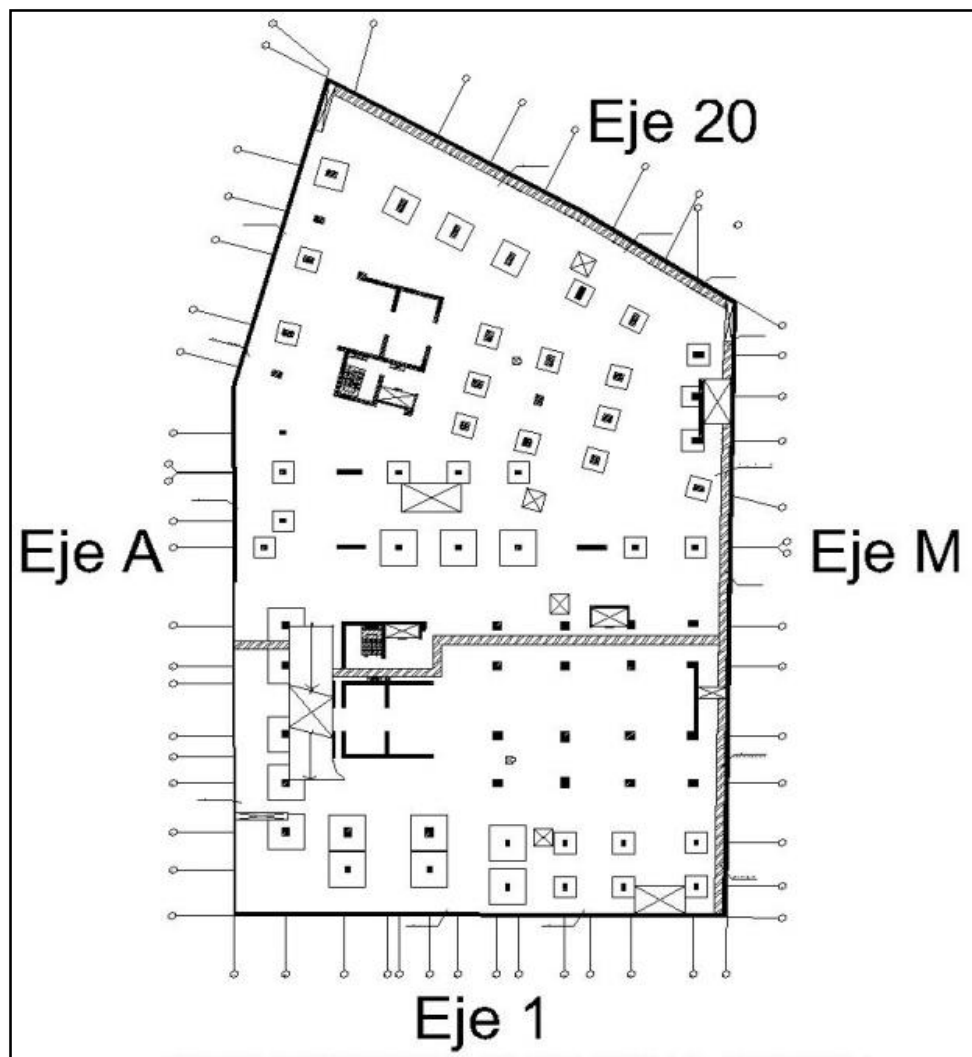
De manera general, el método de reparación tradicional para los hoyos es rellenarlos con mortero polímero luego de haberle aplicado una pasta de cemento polímero en la superficie a cada uno de los hoyos si es que el resane se tiene que hacer de manera puntual en la cara de los muros. En caso sea un muro cuyas tolerancias excedan el 3% del área total afectada o el 30% del área vista se necesita realizar un resane general a la superficie del muro. Para esto se utilizará una mezcla de lechada de cemento con pintura en el caso del proyecto, puesto que los muros son de un acabado solaqueado.

Como acción preventiva ante la aparición de las burbujas, se puede controlar la velocidad del vaciado del concreto para evitar que zonas queden sin el vibrado necesario. También se debe controlar la limpieza de las latas de encofrado, ya que poseen una enorme influencia en la aparición de las burbujas.



#### 4.2.4. Ocurrencia.

En el proyecto se ejecutó un análisis en campo para cuantificar la cantidad de muros que presentaban observaciones por el tema de aparición de burbujas en su superficie. Para esto, se presentará la distribución de paneles en los 4 ejes del proyecto. Nótese que en el Eje 1 solo se usan muros anclados desde el quinto nivel ya que los anillos superiores están soportados por los muros pantalla vecinos. Se presenta la distribución de los ejes a continuación en la **Fig. 4.6**.



**Fig. 4.6.** Ejes delimitantes del proyecto.  
(Fuente: Propia)

• EJE 1:

1.12	1.11	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01
2.12	2.11	2.10	2.09	2.08	2.07	2.06	2.05	2.04	2.03	2.02	2.01
3.06	3.05	3.04	3.03	3.02	3.01						
4.06	4.05	4.04	4.03	4.02	4.01						
5.06	5.05	5.04	5.03	5.02	5.01						
6.06	6.05	6.04	6.03	6.02	6.01						
7.06	7.05	7.04	7.03	7.02	7.01						
8.06	8.05	8.04	8.03	8.02	8.01						
9.06	9.05	9.04	9.03	9.02	9.01						

**Diagrama 1:** X.YY, donde X es el nivel del anillo e YY es el número del paño.

- EJE M:

1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20	1.19	1.18	1.17	1.16	1.15	1.14	1.13
2.33	2.32	2.31	2.30	2.29	2.28	2.27	2.26	2.25	2.24	2.23	2.22	2.21	2.20	2.19	2.18	2.17	2.16	2.15	2.14	2.13
3.17	3.16	3.15	3.14	3.13	3.12	3.11	3.10	3.09	3.08	3.07										
4.17	4.16	4.15	4.14	4.13	4.12	4.11	4.10	4.09	4.08	4.07										
5.17	5.16	5.15	5.14	5.13	5.12	5.11	5.10	5.09	5.08	5.07										
6.17	6.16	6.15	6.14	6.13	6.12	6.11	6.10	6.09	6.08	6.07										
7.17	7.16	7.15	7.14	7.13	7.12	7.11	7.10	7.09	7.08	7.07										
8.17	8.16	8.15	8.14	8.13	8.12	8.11	8.10	8.09	8.08	8.07										
9.17	9.16	9.15	9.14	9.13	9.12	9.11	9.10	9.09	9.08	9.07										

**Diagrama 2:** X.YY, donde X es el nivel del anillo e YY es el número del paño.

- EJE 20:

1.44	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34
2.44	2.43	2.42	2.41	2.40	2.39	2.38	2.37	2.36	2.35	2.34
3.23	3.22		3.21		3.20		3.19		3.18	
4.23	4.22		4.21	4.20		4.19		4.18		
5.23	5.22		5.21		5.20		5.19		5.18	
6.23	6.22		6.21		6.20	6.19		6.18		
7.23	7.22		7.21	7.20		7.19		7.18		
8.23	8.22		8.21	8.20		8.19		8.18		
9.23	9.22		9.21		9.20		9.19		9.18	

**Diagrama 3:** X.YY, donde X es el nivel del anillo e YY es el número del paño.

- EJE A:

5.50	5.49	5.48	5.47	5.46	5.45	5.44	5.43	5.42	5.41	5.40	5.39	5.38	5.37	5.36	5.35	5.34	5.33	5.32	5.31	5.30	5.29	5.28	5.27	5.26	5.25	5.24
6.50	6.49	6.48	6.47	6.46	6.45	6.44	6.43	6.42	6.41	6.40	6.39	6.38	6.37	6.36	6.41	6.34	6.33	6.32	6.31	6.30	6.29	6.28	6.27	6.26	6.25	6.24
7.50	7.49	7.48	7.47	7.46	7.45	7.44	7.43	7.42	7.41	7.40	7.39	7.38	7.37	7.36	7.41	7.34	7.33	7.32	7.31	7.30	7.29	7.28	7.27	7.26	7.25	7.24
8.50	8.49	8.48	8.47	8.46	8.45	8.44	8.43	8.42	8.41	8.40	8.39	8.38	8.37	8.36	8.41	8.34	8.33	8.32	8.31	8.30	8.29	8.28	8.27	8.26	8.25	8.24
9.50	9.49	9.48	9.47	9.46	9.45	9.44	9.43	9.42	9.41	9.40	9.39	9.38	9.37	9.36	9.41	9.34	9.33	9.32	9.31	9.30	9.29	9.28	9.27	9.26	9.25	9.24

**Diagrama 4:** X.YY, donde X es el nivel del anillo e YY es el número del paño.



En estos cuadros podemos encontrar a los muros que presentan observaciones por burbujas con un resaltado **verde**. También se diferencia el uso de los dos distintos tipos de desmoldante que fueron usados para la limpieza de los paneles de encofrado, colocándole letras **negras** a los muros que utilizaban paneles limpiados con Z-CROM y letras **rojas** para los muros que utilizaban paneles limpiados con ALUMI-CON-DE.

El resultado muestra que el 39% de los paneles presenta observaciones por burbujas, pero se reduce al 30% si solo realizamos la medición en términos de áreas totales. El eje que más observaciones ha presentado ha sido el Eje 20 con un 48% del total de muros ejecutados y el eje que menos observaciones tuvo fue el Eje A con un 24%.

Las observaciones se generaron en casi su totalidad por la aparición de áreas afectadas por encima del 30% del área visible del muro, es decir que se tendrá que ejecutar la reparación de estos muros con el uso de una combinación de pintura y pasta de cemento para generarles un acabado entregable.

Las causas para que se presente este número elevado de observaciones son principalmente la limpieza de los paneles usados para el encofrado de los muros (enfocado hacia el uso de distintos tipos de desmoldantes), la velocidad del fraguado del concreto usado y el slump con que se trabajó en obra. Estas causas serán tratadas más a fondo en el siguiente capítulo.

### **4.3. Desplomes.**

#### **4.3.1. Definición.**

Los desplomes son panceos en la superficie de los muros generados por la misma fuerza de empuje que ocasiona la mezcla de concreto hacia los paneles de encofrado antes de que inicie su fraguado.

Son bastante recurrentes en proyectos con varios sótanos ya que en los anillos inferiores la altura de los muros aumenta y su espesor también ocasionando una mayor fuerza de empuje hacia la cara de los muros. De misma manera, los paneles de encofrado son utilizados repetitivamente para la ejecución de los muros, por ende en los niveles inferiores estos paneles ya traerán consigo deformaciones imperceptibles al ojo humano, pero notorios cuando se realiza el levantamiento topográfico de la planeidad de los muros con estación total.

Los desplomes no sólo se originan mediante un panceo desde la cara expuesta del concreto hacia el exterior, si no también se pueden generar hacia la cara interior de los muros. Como se conoce que durante el vaciado de los muros la mezcla genera fuerzas

horizontales por su propio empuje, se le deja una contraflecha de algunos milímetros al momento de colocar el encofrado. En ocasiones la fuerza del empuje no es lo suficientemente grande para superar esta contraflecha, generando un desplome hacia el interior de los muros. También, el desplome hacia el interior puede ser generado por la falta de tacos de concreto en las zonas superiores del encofrado.

En un procedimiento constructivo tradicional de muros anclados siempre se tendrán desplomes en los muros entregables al cliente, puesto que la junta generada por el vaciado de dos muros en diferentes niveles que a la mitad del nivel del altura de entrepiso de la mayoría de los sótanos. Los muros al ser vaciados en tiempos diferentes tienden a presentar desplomes relativos del nivel inferior en comparación al superior por el mismo proceso constructivo, desplomes que generan observaciones al momento de convertirse en entregables.

Los desplomes no sólo influyen en la calidad de acabado de los muros, ya que si estos exceden significativamente los rangos de tolerancias de acuerdo al tipo de elemento estructural, pueden inclusive generar daños estructurales en el muro. Cuando el desplome se genera hacia la cara interior del muro, el recubrimiento se ve reducido, entonces la adherencia entre el concreto y el acero no podría llegar a ser la óptima, agregándole un curado inadecuado en los primeros días de fragua del concreto endurecido, genera como resultado una falla de adherencia que ocasiona fisuras en la cara del muro. Si es que se obtuviera un recubrimiento muy grueso, ocasionado por un desplome hacia la cara del encofrado, la cara exterior del concreto no podría trabajar efectivamente con el acero de refuerzo y por tanto podría llegar a producirse una falla por carga de servicio.

#### **4.3.2. Tolerancia.**

Los desplomes entran en la categoría de observaciones controladas post-vaciado. Las tolerancias son dependientes del tipo de edificación en la cual se utiliza el muro, el acabado final de estos y su altura.

Según el manual de tolerancias de GyM para edificaciones se consideran los muros de concreto de la siguiente manera:

- G1: Muros arquitectónicos cara vista.
- G2: Muros de concreto que serán empastados, pintados, empastados o maquillados.
- G3: Muros de concreto que quedarán expuestos a la vista, pero en los cuales su apariencia no es tan importante como en el G1.
- G4: Muros pertenecientes a obras gruesas.

Los muros utilizados en este proyecto poseen un acabado que los pone dentro de la categoría G2. La altura de estos muros es de 3 – 6m, lo cual genera que los recubrimientos de los muros posean una tolerancia de +/-12mm en su acabado.

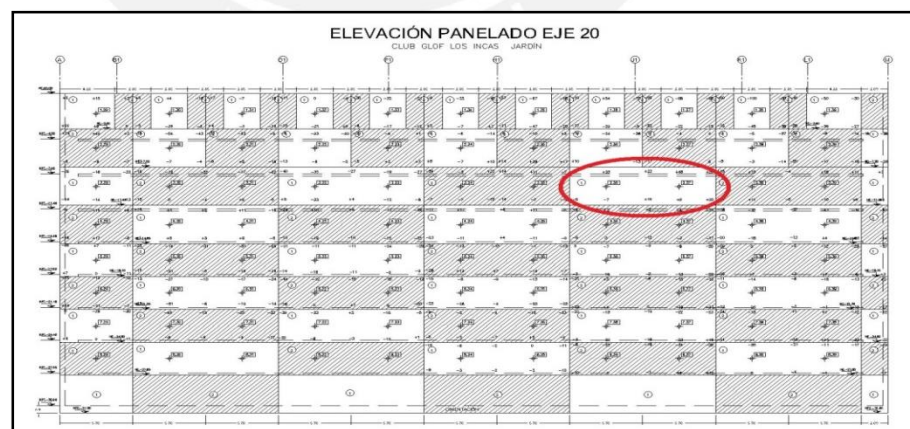
#### 4.3.3. Método de reparación.

El método de reparación para estas observaciones depende del tipo de desplomes ocurridos en el muro. En caso de ser un desplome hacia la cara exterior del muro se ejecutará un picado puntual en la zona afectada, si el desplome es bastante pronunciado, de no ser tan pronunciado, con el tarrajeo o el solaqueo del muro se dará la planeidad final deseada. En caso de ser un desplome hacia la cara interior del muro, se tarrajeará la zona afectada para poder llegar al recubrimiento deseado.

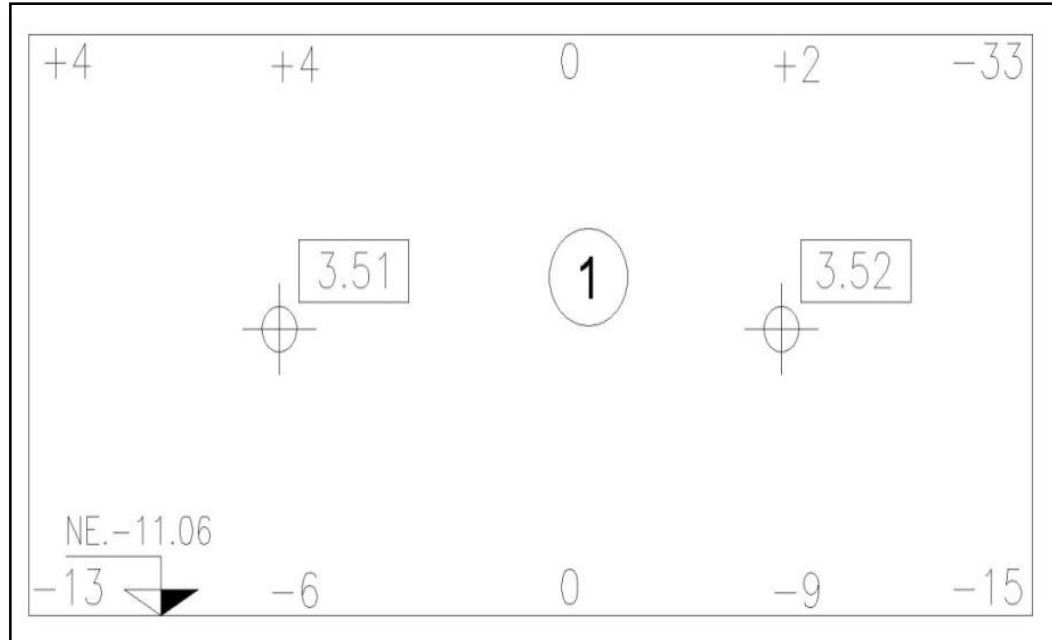
#### 4.3.4. Ocurrencia.

En el proyecto se generó un control de desplomes por paño de muro vaciado, en el cual se tomaban mediciones de 6 a 10 puntos (dependiendo de la longitud del muro) en la superficie de los muros con el topógrafo. Con el uso de una estación total se medían los milímetros que se tenían de diferencia entre la superficie de los muros y el nivel topográfico indicado en el plano.

Se obtuvieron alrededor de 2500 puntos de muestra en todos los paños del proyecto. En la **Fig. 4.7.** se muestra el ejemplo de un eje de muros en el proyecto y se hace la ampliación de uno de ellos (Ver **Fig. 4.8.**) para mostrar como ejemplo el trabajo realizado junto con topografía.



**Fig. 4.7.** Plano de control de desplomes Eje 20.  
(Fuente: Propia)



**Fig. 4.8.** Ejemplo de control en un paño. (Los números 3.51 y 3.52 representan la codificación de los anclajes, más no la del paño.

(Fuente: Propia)

Con los datos obtenidos en campo se generó la siguiente tabla, la cual muestra la cantidad de puntos tomados por anillo, el promedio del desplome de todos puntos con respecto a la cara del muro en milímetros, la cantidad de puntos en rango y el promedio de estos respecto al total.

**Tabla 4.1.** Control de desplomes. (ANEXO 1 y ANEXO 2)

Tabla de control	Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3	Anillo 4	Anillo 5	Anillo 6	Anillo 7	Anillo 8	Anillo 9
Muestra	262	256	224	226	334	336	326	328	330
Promedio (mm)	18.2	17.8	13.9	13.0	12.1	11.3	12.8	8.6	7.5
En rango	95	76	71	165	249	266	234	276	285
Fuera de rango	167	180	153	61	85	70	92	52	45
Promedio en rango	36.3%	29.7%	31.7%	73.0%	74.6%	79.2%	71.8%	84.1%	86.4%

De los datos proporcionados por la tabla podemos darnos cuenta que los primeros tres anillos de muros fueron los más afectados por desplomes, teniendo solo un 30% de los puntos tomados dentro del rango (12mm). La situación mejora a partir del anillo 4, en el cual el promedio de muestras dentro del rango aumenta por encima del 70% y el promedio de desplome de los puntos está por debajo de los 12mm. Finalmente, en los



anillos inferiores los desplomes están prácticamente controlados, obteniendo valores dentro de los rangos aceptables por encima del 80%, necesitando reparaciones mínimas y puntuales.

Una de las razones por las cuales existe un cambio tan significativo entre los anillos 3 y 4 es porque a partir del cuarto anillo las uniones de los muros anclados se convierten también en las costuras donde nacen las losas de sótanos, se sincronizan los muros anclados con los muros de entrepiso del edificio. Empieza a funcionar la modulación alternativa de los paneles de muros anclados. Esta alternativa constructiva desarrollada en el proyecto será explicada de manera más profunda en el siguiente capítulo, pero desde ya se muestra uno de los beneficios más importante que trae consigo, en cuanto a temas de calidad en el acabado de los muros.

El refuerzo que se coloca en el encofrado también ha influido para poder disminuir los desplomes. En los anillos inferiores se pudo generar un refuerzo adicional a los bloques de concreto que se colocan como soporte de las fuerzas de empuje mediante el uso de una cama de arena que se situaba hasta el nivel de altura de los muros (Ver **Fig. 4.9.**). De esta manera las fuerzas horizontales generadas por la mezcla de concreto aún no fraguada no vencían las superficies de encofrado.



**Fig. 4.9.** Refuerzos de los paneles de encofrado usados en el proyecto.  
(Fuente: Propia)

En los anillos superiores no se pudo realizar esta práctica por el mismo hecho de estar en los inicios de la excavación. En esta etapa la excavación es masiva, buscando eliminar por encima de 1500m<sup>3</sup> por día, para esto se necesita la maquinaria moviendo material prácticamente toda la jornada de trabajo. Al no poseer maquinaria para el proceso de encofrado, más que para transportar los paneles de un punto a otro, no se pudieron generar estas camas de arena.

#### **4.4. Fisuras.**

##### **4.4.1. Definición.**

Las fisuras son pequeñas líneas de abertura que se presentan en las caras del concreto ya endurecido. Se pueden clasificar dependiendo de su influencia en la estructura. Existen las fisuras que atentan contra el diseño estructural del elemento y aquellas fisuras que son significativamente menores y solo afectan la calidad del acabado del elemento. El primer tipo de fisuras es el que se desea evitar ya que amerita un procedimiento de reparación más complicado. Estas grietas se dan a lugar en la retracción plástica del concreto, durante las primeras horas del fraguado, principalmente por un mal curado de la superficie. Otro motivo por el cual pueden aparecer es debido al poco recubrimiento con el cual es diseñado el elemento estructural, en este caso la adherencia entre el concreto y el acero no es la óptima, entonces ocurrirá una falla de adherencia la cual genera la grieta en la cara del muro. De misma manera, las grietas pueden aparecer por el diseño de un elemento con un recubrimiento muy amplio. En este caso las caras del concreto no tendrán el soporte del acero y ocurrirán fallas por carga de servicio.

Los problemas en la cimentación de los elementos también pueden generar fisuras, por ejemplo los asentamientos diferenciales. Estas son de las fisuras más peligrosas ya que los asentamientos diferenciales generan esfuerzos extras para los cuales la estructura no ha sido diseñada. Las fisuras en este caso sirven de alerta para saber que se está dando un asentamiento de la estructura.

El proceso constructivo de los muros influye en las apariciones de las fisuras, principalmente cuando no se hace un control debido del recubrimiento de los muros durante el encofrado y el concreto es vaciado. Esto genera que se desarrollen los problemas por recubrimiento ya mencionados.

##### **4.4.2. Tolerancia.**

Las fisuras que necesitarán reparación serán aquellas que atenten contra la resistencia o la durabilidad de la estructura. Estas fisuras son aquellas cuya profundidad sobrepasa la posición del acero de refuerzo, puesto que no se genera una relación óptima



de adherencia entre el concreto y la armadura. Adicionalmente, se repararán las fisuras que por su tamaño atenten contra la estética de la estructura, por ejemplo para los muros cuya apariencia importe en el acabado (muros con pintura de látex). Estas fisuras pueden generar la sensación de inseguridad en los usuarios del inmueble, por eso necesitan un resane.

#### **4.4.3. Métodos de reparación.**

Para poder elegir el procedimiento de reparación, primero se debe considerar la causa de la fisura. Si la fisura ocurriera por un mal curado durante la etapa de retracción plástica del concreto, es posible ejecutar un procedimiento superficial para resanarlas; no obstante, si la fisura se debiera a un asentamiento diferencial en la estructura, primero se debería resolver el problema de asentamiento para poder continuar con la reparación de las fisuras.

Si la estabilidad de la estructura no se ve comprometida, entonces el resane de la fisura será un procedimiento simple de tarrajeo en la superficie del muro, para poder mejorar su estética y prevenir de sensaciones de inseguridad a los usuarios. En caso de tratarse de una fisura muy profunda que llega hasta la armadura del elemento, se necesitará aplicarle una inyección de epóxico.

Las fisuras cuya estrechez no es menor a 0.05mm pueden ser reparadas mediante el uso de epóxico a base de un inyectado del mismo. Este procedimiento principalmente consiste en establecer un punto de entrada en la fisura, sellándola e inyectando el epóxico bajo presión.

El primer paso es limpiar las fisuras de los contaminantes que pudieran haber penetrado en la estructura como aceites, grasas, suciedad, etc. Es preferible que la limpieza se realice con el uso de una inyectora de aire. Seguidamente, se deben sellar los alrededores a las fisuras para evitar que el epóxico se pueda filtrar hacia el exterior de la estructura antes de que éste haya pasado a un estado gelificado. Luego, se instalarán los puertos de ventilación y la entrada del epóxico para finalmente inyectarlo y dejar que se convierte en gel.

#### **4.4.4. Ocurrencia.**

En el proyecto no se han presentado muchos muros con el problema de fisuras, debido a un buen curado químico que se le ejecutaba a los muros al día siguiente de su vaciado. Sin embargo, los muros que pertenecían a la zona de las uniones de los ejes del proyecto presentaron problemas de fisuras por la dificultad que se tenía en la maquinaria para poder acceder a esos puntos. Normalmente la demora de desencofrado era superior

al día, por lo que los muros ya presentaban fisuras (Ver **Fig. 4.10.**) al momento de su desencofrado.



**Fig. 4.10.** Ocurrencia de fisuras en los muros del proyecto.  
(Fuente: Propia)

#### 4.5. Juntas frías.

##### 4.5.1. Definición.

Las juntas frías son referidas a la cara discontinua o irregular que se genera durante el vaciado del concreto al no generarse un elemento monolítico y uniforme debido a que el concreto es vaciado en distintos tiempos o se deja mucho tiempo de intervalo entre un concreto y otro. En la zona que ocurre la junta fría, el concreto es muy débil, debido a que no se genera una estructura monolítica, generando fisuras y segregaciones, las cuales dañan estructuralmente al elemento.

Las juntas frías son distintas a las juntas de construcción, ya que las juntas de construcción están diseñadas para que se coloquen en campo, mientras que las juntas frías son observaciones que han de ser levantadas.

Una causa para la aparición de juntas frías en los muros es el grado de fraguado (endurecimiento) en el concreto vaciado previamente. Para este endurecimiento influyen factores tales como la dosificación del concreto (algunos concreto llevan acelerantes de fraguado), humedad o condiciones ambientales durante la realización de la mezcla, el vaciado del concreto como podría ser una alta temperatura que acelera la exudación del concreto o el transporte del concreto desde la planta de premezclados hacia obra y desde

la bomba de concreto hasta el punto de vaciado en campo o el mismo procedimiento de vaciado y vibración.

#### 4.5.2. Tolerancia.

Según el “Manual de Tolerancias para Edificaciones” de GyM S.A. todas las juntas frías deben resanarse, ya que son considerados como No Conformidades por la supervisión y el área de calidad del proyecto. Las juntas frías representan un daño estructural en el elemento puesto que el elemento que ha sido diseñado monolíticamente ha sido dividido en dos o más partes; adicionalmente, las fisuras y segregaciones que surgen a causa de las juntas frías generan vacíos en la superficie del concreto cuya profundidad puede llegar hasta la armadura, comprometiendo a esta ante los agentes oxidantes y la humedad.

#### 4.5.3. Métodos de reparación.

El método de reparación para las juntas frías depende del tamaño y la importancia de la misma. En caso de ser una junta fría pequeña, de poca profundidad y poco espesor, se podrá resanar con el uso de un cepillo con pasta de cemento polímero a lo largo de su superficie. En caso de tratarse de una junta fría significativa que atente contra el diseño estructural del elemento, se reparará mediante la inyección de un epóxico para generar una estructura monolítica.

#### 4.5.4. Ocurrencias.

En el proyecto se tuvo solo una junta fría significativa en un muro del eje 20 (Ver **Fig.4.11.**), la cual ocurrió por el tiempo excesivo de espera que se dio entre el vaciado de dos concretos. Entre las causas para que ocurrieran principalmente se encuentra la demora por parte del subcontratista de concreto premezclado, el cual generó una demora por encima de las tres horas entre llegada de mixers a la obra. El concreto usado en todos los muros anclados del proyecto fue pedido con acelerante de fraguado a las 24h y 72h, lo cual influyó para que el concreto a vaciarse luego de las tres horas no genere una estructura monolítica con el concreto ya vaciado. Otro factor que influyó en la aparición de esta observación es la longitud de la tubería de concreto, la cual supera longitudes de 200m en el proyecto, desde el patio de maniobras, que es donde se encuentra la bomba de concreto, hasta los ejes más alejados (Eje 1 y Eje 20). Al poseer una distancia tan larga, el slump del concreto con el cual llega al punto de vaciado disminuye considerablemente, lo cual ocasiona que el concreto se endurezca más rápido. Al día siguiente se ejecutó el desencofrado del elemento, el cual mostró una junta fría con área y profundidad considerable.



**Fig. 4.11.** Juntas frías en un muro del proyecto.  
(Fuente: Propia)

Para evitar que estas observaciones vuelvan a ocurrir se propuso vaciar el concreto de manera continua, para esto se necesitó la cooperación del subcontratista de concreto premezclado. El control de vaciados cumple un rol muy importante en este aspecto, buscando vaciar lo más rápido posible el concreto o mejorando el procedimiento de vibrado para tratar de conseguir la estructura monolítica óptima.

#### **4.6. Segregaciones.**

##### **4.6.1. Definición.**

Las segregaciones son exposiciones del agregado grueso y vacíos irregulares en la superficie de concreto. En una mezcla de concreto existen dos familias: la familia de agregados, la cual incluye a la arena y a la grava, y la familia pasta, la cual incluye al agua y al cemento. La pasta funciona como un lubricante entre los agregados, los rodea e impide que se choquen unos con otros. La segregación ocurre cuando la pasta no llega a cubrir una zona de los agregados y estos quedan visibles. Se puede observar piedra chocando con piedra, además de presentar vacíos en sus alrededores.

Se pueden establecer grados de calificación del acabado que presentan los muros con respecto a sus defectos superficiales, dependiendo del área afectada con las segregaciones.



**Tabla 4.2.** Calificación de segregaciones.

SEGREGACIÓN	
%Respecto al área total	Calificación
Menor a 1%	Grado 1 (Muy Bueno)
Entre 1% y 5%	Grado 2 (Bueno)
Entre 5% y 10%	Grado 3 (Aceptable)
Mayor a 10%	Grado 4 (Deficiente)

Las segregaciones suelen aparecer en la base de los elementos, debido a que todo el peso de la mezcla concentrado en la base genera que la pasta de cemento comience a escaparse, dejando a los agregados expuestos (Ver **Fig. 4.12**).



**Fig. 4.12.** Segregaciones en un muro del proyecto.  
(Fuente: Propia)

#### 4.6.2. Tolerancias.

El “Manual de Tolerancias para Edificaciones” de GyM S.A. indica que si la profundidad de la segregación no excede el tamaño máximo del agregado de la mezcla, esta no compromete estructuralmente al elemento, por lo tanto el procedimiento de reparación sería más sencillo.

#### 4.6.3. Métodos de reparación.

El procedimiento de reparación se establece dependiendo del daño que represente la segregación ante la estabilidad estructural del muro.

En caso la segregación presente una profundidad mayor al tamaño máximo del agregado se necesitará inyectarle epóxico a las zonas afectadas para que el gel cumpla la función de la pasta de cemento, generando así una estructura monolítica en todas sus partes y protegiendo a la armadura de acero.

Si la profundidad de la segregación es menor al tamaño máximo del agregado de la mezcla, entonces el resane será un tarrajeo de la superficie dañada para poder darle uniformidad al acabado y una mejor sensación de seguridad a los usuarios.

#### 4.6.4. Ocurrencias.

El proyecto se ha trabajado con una mezcla de concreto cuyo tamaño máximo de agregado es de  $\frac{3}{4}$ " (aprox. 2cm). Este valor es el que se ha tomado para medir el nivel de reparación que tendrán los muros. En su mayoría, las segregaciones presentadas en el proyecto no superaron este número, por tanto las reparaciones que se tuvieron que hacer han sido mínimas. Adicionalmente se notó que todas las segregaciones presentadas han sido en la base de los muros, sobre todo en los anillos iniciales, los cuales han sido diseñados con una altura mayor a los anillos inferiores. La altura de los muros influencia seriamente en la aparición de las segregaciones por el peso que representa la mezcla antes de que complete su fragua, liberando la pasta por las zonas en contacto con el terreno.

**Tabla 4.3. Resumen de tolerancias.**

DESVIACIONES	TOLERANCIAS
Cangrejeras	Se considera cangrejera cuando el 10% del área total evaluada presenta daños y los vacíos poseen una profundidad de 1/5 del espesor del muro o la longitud del recubrimiento. Todas las cangrejeras ameritan una reparación en la estructura.
Burbujas	Se considera un muro con burbujas cuando el 3% de su área total presenta agujeros con una profundidad mayor a 10mm o un diámetro mayor a 15mm; adicionalmente, también se considera con burbujas si el 30% del área visible presenta una notoria afección. Todos los muros que presenten esta desviación ameritan un resane superficial.
Desplomes	Para los muros anclados con una altura entre 3-6m, se considera una tolerancia de +/- 12mm en su acabado.



Fisuras	Se considera fisura cuando el hueco presente en la estructura posea una profundidad que sobrepase la posición del acero de refuerzo.
Juntas frías	Se considera junta fría a las caras discontinuas o irregulares que se generan durante el vaciado de concreto al no generarse una estructura monolítica. Todas las juntas frías ameritan un resane estructural.
Segregaciones	Se considera segregación a las exposiciones del agregado grueso y a los vacíos irregulares en la superficie de concreto. En caso la profundidad de la segregación sea mayor al tamaño máximo del agregado de la mezcla.

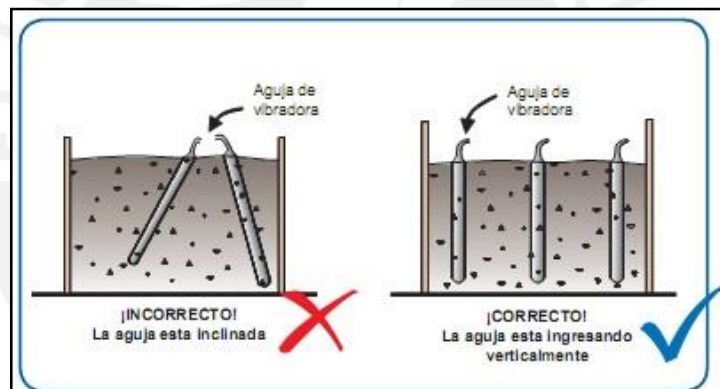


## CAPÍTULO V: AGENTES QUE AFECTAN EL ACABADO DE LOS MUROS ANCLADOS

### 5.1. Mal vibrado.

El vibrado es el proceso mediante el cual se compacta el concreto recién vaciado usando una aguja vibradora. Su función principal es eliminar el aire atrapado dentro del concreto. Permite una mejor unión entre el concreto y el acero, también logra una mejor colocación del concreto dentro del encofrado.

La manera correcta de vibrar es introduciendo la aguja verticalmente en el vaciado de concreto (Ver **Fig. 5.1.**). Dependiendo del slump que posea el concreto se mantendrá la aguja en la misma posición (Ver **Tabla 5.1.**) y se la retirará a velocidad de 3m/seg. Luego de retirar la aguja, se procede a moverla horizontalmente aproximadamente 5cm y se la vuelve a insertar en el vaciado.



**Fig. 5.1.** Correcta manera de vibrar.  
(Fuente: Propia)

**Tabla 5.1.** Slump vs tiempo de vibrado.

Slump (pulg.)	Tiempo aprox. de vibrado (seg)
2-4	14-20
4-6	8-14
6-8	4-9
8 a más	Máx. 7

(Fuente: “Manual de tolerancias para edificaciones”. GyM)

Se debe tener en consideración la trabajabilidad del concreto fresco al momento de hacer el vibrado. Un concreto más espeso (Slump: 1"-5") va a necesitar una mayor energía de compactación, esto se debe a que las burbujas atrapadas en la mezcla necesitarán una mayor energía para escapar a la superficie. Caso contrario es el de un concreto altamente trabajable (Slump: 6"-12"), cuya compactación debe ser cautelosa debido a que al ser una mezcla más trabajable las burbujas, y la mezcla misma, se distancian más rápido de la aguja de la vibradora dejando la piedra chocando con piedra y formando de esta manera segregaciones.

Como fue mencionado anteriormente, la función principal del vibrado es hacer que las burbujas atrapadas en la mezcla escapen a la superficie. Cuando el tiempo de vibrado no es el suficiente, las burbujas de aire se quedan pegadas al encofrado sin lograr completar su trayectoria vertical. Al quedarse las burbujas de aire en las caras del encofrado, el concreto se endurecerá alrededor de ellas generando, en primera instancia, burbujas (**Fig. 5.2.**) y, si el aire atrapado ocupa un mayor volumen, cangrejas (**Fig. 5.3.**).



**Fig. 5.2.** Burbujas.  
(Fuente: Propia)



**Fig. 5.3.** Cangrejas.  
(Fuente: Propia)

## 5.2. Limpieza de los paneles de encofrado.

La limpieza de los paneles de encofrado se realiza con el uso de desmoldantes. Éstos son un aditivo químico, cuya función es remover los restos de mezcla de concreto de las superficies de los paneles. Esta es una tarea esencial para evitar la aparición de burbujas, ya que los restos de mezcla en los paneles son los culpables de su aparición.

En el proyecto se usaron dos tipos de desmoldantes: Z-CRON de la empresa Z-ADITIVOS y ALUMI-CON-DE de la empresa NOX-CRETE. Se presenta un cuadro resumen con la incidencia de burbujas en los paños. El mismo cuadro se puede verificar con los cuadros presentados en el **subcapítulo 4.2.4.**, en el cual se especifica a los paños trabajados con Z-CRON de color negro y a los paños trabajados con ALUMI-CON-DE de color rojo.

**Tabla 5.2.** Resultados del uso de ambos desmoldantes.

	Total	Z-CRON	ALUMI-CON-DE
<b>Analizados</b>	384	222	162
<b>Observados</b>	149	142	7
<b>Porcentaje</b>	38.8%	64.0%	4.3%



El proyecto inició usando el aditivo Z-CRON, pero debido a la gran incidencia en la aparición de burbujas se decidió probar con un nuevo proveedor de desmoldantes. Se contactó con la empresa NOX-CRETE, la cual hizo una presentación de sus productos en campo (Ver **Fig. 5.4.**).

Se empezó con el uso del desmoldante ALUMI-CON-DE a partir del primero de abril del 2014 reduciendo la incidencia de observaciones por burbujas considerablemente. Se pasó de tener un 64% de incidencia a tan solo un 4%, con lo cual queda demostrada la eficacia de este tipo de desmoldante.



**Fig. 5.4.** Demostración en campo del uso de ALUMI-CON-DE.  
(Fuente: Propia)

De misma manera queda demostrada la importancia del desmoldante en la aparición de burbujas. Los porcentajes hallados en campo avalan la relación entre su correcto funcionamiento y la incidencia de observaciones por burbujas.

### **5.3. Espesor del recubrimiento en los muros.**

El recubrimiento es esencial en un elemento estructural de concreto armado ya que protege al acero de los factores externos del medio ambiente, por ejemplo la humedad o la temperatura. Su espesor es determinado por el ingeniero estructural, el cual toma en



consideración si el elemento tendrá contacto con el suelo o no, que tan expuesto al aire libre estará, la cantidad de acero que llevará, las cargas que soportará y la deflexión que pueda sufrir.

Los elementos que se encuentran en contacto directo con el suelo y soportan una carga bastante grande, como zapatas y losas de cimentación, suelen tener un recubrimiento de 5-7 cms. Las columnas, vigas y placas suelen tener un recubrimiento menor al de las zapatas (aprox. 3 cm) debido a que no están expuestas tan directamente a los factores ambientales anteriormente mencionados pero sí deben aguantar una gran carga debido a que son los encargados de soportar toda la estructura. En tanto los muros con anclaje temporal, hablando específicamente de la cara interna ya que la cara externa lleva un recubrimiento mayor a 5cm por su contacto directo con el terreno, poseen un recubrimiento promedio de 2.5-3 cm.

El espesor influye directamente en el acabado de los muros debido a que esa zona de recubrimiento (entre el acero y el encofrado) no puede ser vibrada directamente. Una aguja vibradora típica tiene por diámetro entre 1"-1 ½" (2.5-4 cms). Es debido a este tamaño que la aguja no entra en esa zona e recubrimiento. El vibrado se debe hacer en la zona interna de la armadura y es por esto que algunas burbujas de aire no llegan a completar todo su recorrido horizontal (hasta la cara del encofrado) y vertical (hasta la superficie). Al aumentar la distancia a recorrer, estas burbujas van quedando atrapadas en la mezcla de concreto que empieza a fraguar, generando de esta manera las desviaciones anteriormente ya mencionadas (cangrejas y burbujas).

Cuando el espesor del recubrimiento es bajo, la adherencia entre el concreto y el acero no podría llegar a ser la óptima, sumándole un curado inadecuado en los primeros días de fraguado el concreto, el resultado deriva en una falla de adherencia, la cual ocasiona fisuras en la cara del concreto. Por otro lado, si es que se tuviera un recubrimiento muy amplio, la cara de concreto no podría trabajar directamente con el acero y por tanto podría llegar a producirse una falla por carga de servicio, la cual también genera fisuras en las caras de concreto.

Trabajar con el espesor del recubrimiento de los muros es bastante difícil ya que por un lado, si es bajo, no podremos vibrar en la zona del recubrimiento y aparte podemos ocasionar fisuras en la cara del muro debido a la falla por adherencia y por el otro lado, si es un espesor muy amplio, la cara de concreto sufrirá fisuras debido a la falla por carga de servicio.

El control topográfico debe ser exhaustivo en un proyecto. Se puede realizar un control pre-vaciado, en el cual se verifica el plomo de las caras de encofrado medido desde la estación total; un control durante el vaciado, en el cual el topógrafo le indica al

carpintero si es que la presión de concreto está generando un desplome en los paneles de encofrado y la solución sería inmediata mediante el ajuste de los refuerzos que sostienen los paneles, devolviendo la cara del muro a la posición óptima; y un control post-vaciado, el cual se da minutos posteriores al vaciado, antes de que el concreto empiece a fraguar, para ajustar los puntales del muro a la posición inicial en caso haya ocurrido un desplome o desajustarlos en caso el concreto no haya superado la contra flecha dejada inicialmente.

En adición, sumamos la labor de control de calidad que ejercen los ingenieros de campo, la cual busca el control de la correcta ejecución de los procesos constructivos. Para el caso de recubrimientos, se debe controlar la distancia dejada entre la malla de acero y los paneles metálicos mediante el uso de tacos de concreto, el aplomado de los muros y la modulación de los refuerzos de apuntalamiento.

#### 5.4. Refuerzo del encofrado.

El refuerzo de encofrado sirve para soportar los empujes horizontales que genera la mezcla al ser vaciada. Su principal aporte es la disminución de desplomes en el acabado del muro.

Para la construcción de muros anclados es necesario un refuerzo adicional al apuntalamiento que se puede generar en la construcción de un muro pantalla tradicional que va junto con la construcción de la estructura. La principal diferencia se genera en el tipo de superficie sobre la cual se soportan los puntales. Cuando se construye un muro que va a la par con la construcción de los sótanos, los puntales se pueden soportar en las losas de sótanos ya vaciadas, incluso se dejan mechas de fierro para poder generar un anclaje entre los puntales y los puntales. Caso contrario es la construcción de un muro anclado, el cual se soporta sobre el terreno. Cuando construimos sobre terreno, las fuerzas que soportarán el empuje de la mezcla serán el peso del refuerzo puesto al encofrado (Ver **Fig. 5.5.**) y la fuerza de rozamiento generada por esta masa vertical que yace sobre el terreno. Por esto mismo entre mayor masa se coloque como refuerzo mejores resultados se tendrán en el acabado de los muros en cuanto a desplomes. Como refuerzos adicionales se usan bloques de concreto (en el proyecto se consideraron 13 por paño de aproximadamente 1.5 ton cada uno) y también camas de arena que llegan hasta la altura del encofrado. Para medir su impacto se comparó los resultados obtenidos del proyecto, el cual usó cama de arena y bloques en los anillos inferiores y solo bloques en los anillos superiores. Los resultados fueron presentados en la **Tabla 4.1.**



**Fig. 5.5.** Refuerzo tradicional utilizado en el encofrado de los muros. Proyecto “Rivera Navarrete”  
(Fuente: Propia)

### 5.5. Capacitación de la mano de obra.

No basta con el conocimiento técnico del ingeniero de campo para la correcta ejecución del proceso constructivo de los muros anclados, se necesita capacitar al personal obrero, puesto que ellos son los ejecutores finales de la construcción.

Toda la curva de aprendizaje obtenida en el proyecto gracias a la ejecución de 600 muros anclados fue transmitida paulatinamente a los obreros y obtuvimos una retroalimentación de ellos sobre los aspectos que podrían mejorar en la construcción de los muros.

Adicionalmente, se tuvieron capacitaciones por parte de los proveedores de desmoldantes, encofrados y concreto premezclado, tanto para los ingenieros como para los obreros, para discutir de sus observaciones y aportes para con el proceso constructivo de los muros.

Los resultados de lo aprendido por parte de los ingenieros y los obreros se ven reflejado en el análisis de burbujas, desplomes, cangrejeras, juntas frías y fisuras, en donde se evidencia la mejora en todos estos puntos conforme la construcción del sostenimiento de taludes iba progresando a lo largo del tiempo.

## 5.6. Dosificación de la mezcla.

Los componentes dentro de la mezcla de concreto también influirán en el acabado de los muros anclados. La relación agua-cemento ( $a/c$ ), junto con el uso de aditivos definirán el slump a usarse en la mezcla. Ya sea un slump alto o bajo, cada uno implicará distintas consecuencias tanto en el proceso constructivo de los muros como en su acabado final.

Si bien las características de diseño de la mezcla de concreto son requeridas por los encargados en campo, estos deben tener en cuenta las implicancias que presentan los distintos tipos de concreto y prever las soluciones antes posibles observaciones.

### 5.6.1. Consecuencias de un slump bajo.

Una mezcla de concreto es considerada con slump bajo cuando el resultado de la prueba del cono de Abrams se encuentra por debajo de las 6". Normalmente este tipo de concreto es usado en las cimentaciones, cuando el mixer puede botar desde su tolva el concreto directamente en el elemento a vaciarse o cuando se planea ejecutar el vaciado utilizando grúa torre y un balde de concreto. En caso las condiciones del proyecto permitan trabajar con este tipo de concreto, los contratistas prefieren utilizarlo ya que representa un menor costo frente a concretos con slumps mayores.

En la etapa de muros anclados se puede vaciar con una mezcla de concreto de bajo slump pero se deben tener en cuenta algunas consideraciones. Primeramente, tramo a recorrerse en la tubería debe ser el menor posible, es decir sería óptimo utilizar este concreto en los niveles más cercanos a la bomba estacionaria (usualmente el nivel 0). De preferencia se busca que la mayor parte del recorrido en la tubería sea vertical direccionado hacia una zona inferior, ya que en las zonas horizontales el concreto tiende a asentarse y esto puede generar atoros en la tubería. Seguidamente, el diámetro de la tubería debe ser el adecuado para el paso de este concreto. Se recomienda que se en campo se trabaje con una tubería cuyo diámetro sea mayor a 7", de esta manera se garantiza la bombeabilidad de la mezcla. Finalmente, se recomienda que no se trabaje con este concreto en épocas de verano, puesto que temperaturas elevadas generan una fragua acelerada en las tuberías de concreto.

El concreto de bajo slump tiene un tiempo de vida menor al de un concreto con slump alto y en ocasiones llega a existir el problema de atoro en las tuberías. Cuando esto ocurre, se pierde tiempo en la maniobra de desatoro por el mismo procedimiento que implica cortar las tuberías, limpiarlas y volverlas a conectar, mientras tanto, el concreto ya vaciado empieza a fraguar dentro de los paneles de encofrado y al momento de reanudar el vaciado, se puede generar una cangrejera o una junta fría sin importar la cantidad de



fuerza de vibrado que se le proporcione a la mezcla. Para evitar que situaciones como esta ocurran, se recomiendan tener en cuenta las pautas anteriormente mencionadas.

En el proyecto prácticamente no se utilizó este tipo de mezclas durante la etapa de sostenimiento de taludes, salvo casos puntuales en los cuales fue necesario utilizar torre grúa y balde de concreto, debido a que las condiciones del terreno no lo permitían. Al poseer un área de 7300m<sup>2</sup> y una profundidad máxima de 33m bajo el nivel 0, las tuberías llegaron a poseer longitudes superiores a 200m, imposibilitando el uso de un concreto de bajo slump.

### 5.6.2. Consecuencias de un slump alto.

Una mezcla de concreto es considerada que posee un slump alto cuando el valor de la prueba del cono de Abrams supera las 6". Este tipo de mezcla es usada en la mayoría de estructuras debido a su facilidad de bombeado a través de las tuberías, a que no requiere tanta energía de vibrado para ser amoldada correctamente, un mayor tiempo de vida para la mezcla, lo cual es de gran ayuda para los vaciados realizados durante la temporada de verano, y debido a que la estructura tiende a presentar un acabado más uniforme; sin embargo, representa un costo mayor para el contratista, ya que para llegar a las pulgadas de slump requeridas, se le debe echar distintos tipos de aditivos a la mezcla.

El trabajar con una mezcla de alto slump también puede representar observaciones en el acabado de los muros. Por ejemplo, al tratarse de una mezcla más líquida, el empuje que generará en los paneles de encofrado será mayor, pudiendo generar observaciones por desplome en caso no se haya modulado correctamente el refuerzo de apuntalamiento. Adicionalmente, al haber mayor pasta de cemento y aditivos, ésta puede escapar por las zonas inferiores del encofrado debido a que el mismo está apoyado sobre el terreno excavado y la mezcla al ser más suelta es más fácil que se escape, lo cual conllevaría a la aparición de segregaciones en estas zonas de los muros. También, un mayor slump implica menor fuerza de compactación necesaria, entonces se debe tener cuidado con el vibrado ya que si no se mide bien el tiempo en el cual la vibradora está dentro de la mezcla, esta puede generar la aparición de segregaciones en la cara de los muros.

En el proyecto la etapa de muros anclados fue planeada a ejecutarse con una mezcla cuyo slump oscilara entre 8"-10", ya que la etapa de muros anclados estaba programada a ser ejecutada durante el verano y las longitudes de tubería llegarían a ser mayores a los 200m por la composición del terreno y la profundidad propuesta en el proyecto. De las muestras tomadas en campo aleatoriamente a los mixers en campo se obtuvo un promedio de 10" de slump, con lo cual se pudo trabajar esta etapa sin mayores inconvenientes salvo hayan existido demoras en la entrega de mixers por parte del subcontratista de premezclados.



### 5.6.3. Efectos de los acelerantes de fraguado.

Los concretos con acelerantes de fragua son bastante utilizados en los proyectos actuales, dado que por su misma característica de alcanzar la resistencia de diseño en menores tiempos, el proyecto gana días en su tren de actividades. Mayormente son usados en la ejecución de los muros anclados, puesto que se requiere avanzar con el movimiento de tierras con una mayor rapidez, o en la construcción de las losas de techo para poder recuperar encofrado horizontal en menor tiempo y de esta manera reducir el costo de esta partida.

Por diseño estructural se deben perfilar las banquetas de manera intercalada, y para poder perfilar la banqueta intermedia se deben tener vaciados y tensados los muros contiguos. Esta restricción generaría un incremento bastante amplio en el plazo destinado a sostenimiento de taludes si es que no se usarán acelerantes de fraguado en la construcción de muros anclados.

Al momento de escoger este tipo de mezcla para los vaciados se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones. En primer lugar, este tipo de concreto presenta una mezcla más líquida por poseer una mayor cantidad de aditivo, el cual genera la aceleración de fraguado. Al ser esta mezcla más líquida, la lechada de concreto tiende a escaparse por la zona inferior de los moldes de encofrado, generando segregaciones en las zonas inferiores. Adicionalmente, al fraguar a mayor velocidad que una mezcla tradicional, se debe tener cierto cuidado con su curado. En caso se deje el muro encofrado por más de un día pueden aparecer fisuras en su superficie por la falta de curado.

En el proyecto se usó mezcla con acelerante de fraguado a las 24h y 72h en la construcción de todos los muros para que el tren de actividades de muros anclados sea óptimo y no presente paras. Se tuvo mucho cuidado en el refuerzo del encofrado de la zona inferior para evitar la aparición de segregaciones, puesto que aparte de utilizar acelerante de fraguado, la mezcla era pedida con slump máximo. Adicionalmente se incluyó la actividad de desencofrado y curado dentro del tren de actividades para poder darle un seguimiento a cada muro especial en estas actividades, buscando que los equipos utilizados para el movimiento de tierras ayuden con el proceso de retiro de encofrado para que ningún muro quede atrapado por más de un día sin curar.

## CAPÍTULO VI: PROPUESTA DE ALTERNATIVAS CONSTRUCTIVAS

### 6.1. Diseño alternativo de distribución de paneles en muros anclados.

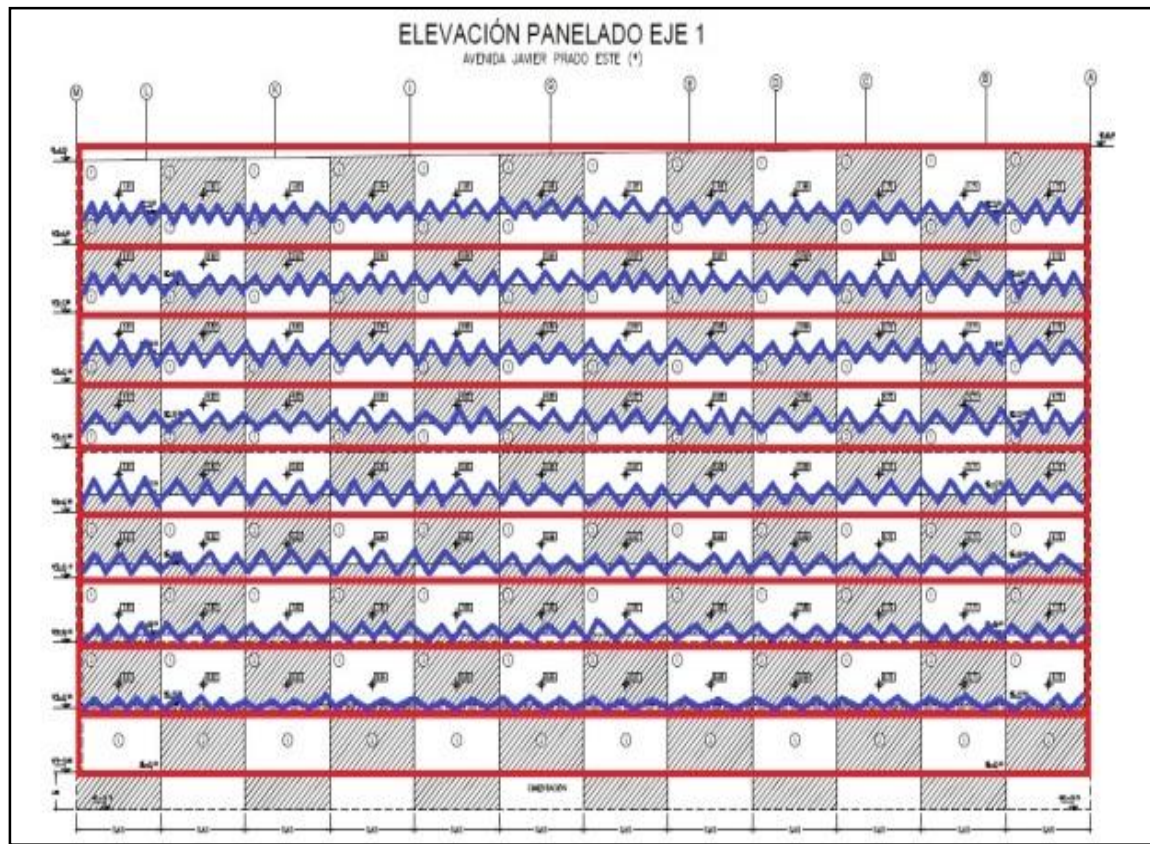
La modelación del panelado de muros se refiere a distribución de alturas que tendrá cada anillo de anclajes. Estas alturas son definidas por el ingeniero estructural del subcontratista que se encargará de los anclajes en los muros. En el caso del proyecto Panorama, los anclajes fueron encargados a la empresa Terratest. Las alturas de los muros se diseñan de tal manera que se sincronicen con los niveles de entrepiso de los sótanos en los últimos anillos.

Se genera un problema debido a que la altura de entrepiso del primer sótano es más grande que los siguientes por diseño arquitectónico. En cambio, la altura del primer anillo de muros es la menor de todas ya que es el primer soporte del talud libre frente a las fuerzas del terreno y edificaciones vecinas. Esta desincronización inicial se arrastra hasta el último anillo ocasionando que la costura que se genera entre los niveles de muro al vaciarse quede en medio de lo que será la pared del sótano. Cada una de estas costuras genera un resane innecesario (Ver **Fig. 6.1.**).



**Fig. 6.1.** Costura de unión de muros generada por la desincronización de niveles.  
(Fuente: Propia)

En la **Fig. 6.2.** se puede apreciar la modulación inicial del panelado diseñada por Terratest para el proyecto. Se representa a los niveles finales de entrepiso de los sótanos con un recuadro en rojo y a las costuras generadas por la unión de los muros con líneas azules. Las costuras de los muros se van sincronizando con la ubicación de las losas de entrepiso a medida que los anillos se van construyendo. Esto ocurre debido a que las alturas de los muros aumentan ya que los anillos superiores soportan los empujes del terreno, de esta manera se puede excavar un paño de mayor tamaño de manera segura, y porque las alturas de entrepiso de los sótanos disminuyen por diseño arquitectónico.

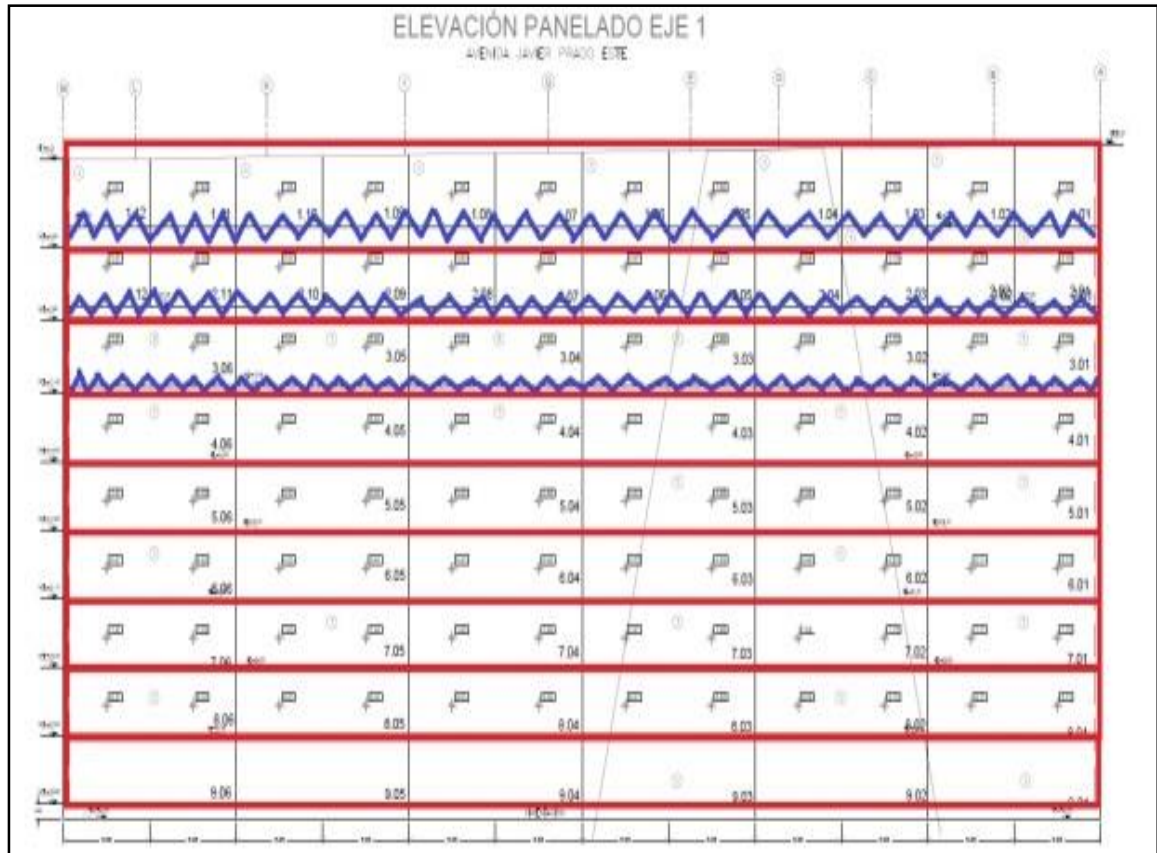


**Fig. 6.2.** Modulación inicial del panelado.

(Fuente: Propia)

En la **Fig. 6.3.** se presenta la propuesta de panelado diseñada en el proyecto Panorama. El objetivo fue buscar la sincronización de las costuras de la unión de los muros con el nivel de las losas de entrepiso para evitar que éstas queden en medio de la pared de los sótanos. Para poder cumplir con la meta, se modelaron nuevas alturas de muros en las cuales los primeros anillos poseerían una mayor altura. Queda representada en la imagen la modelación, en la cual se logran eliminar cinco costuras. La sincronización entre las costuras y las losas se logró a partir del cuarto anillo.





**Fig. 6.3.** Modulación propuesta en el proyecto Panorama.  
(Fuente: Propia)

En la **Tabla 6.1.** se realiza un comparativo de los niveles de losa de entresuelo de los sótanos (NPT) y los niveles en el cual quedaba la unión de los muros pantalla (NE).

**Tabla 6.1.** Comparación de niveles de piso.

Propuesta inicial de Terratest		Alternativa Panorama	
NPT.	NE.	NPT.	NE.
+0.00	+0.00	+0.00	+0.00
-4.50	-3.00	-4.50	-3.50
-7.95	-6.50	-7.95	-7.28
-11.40	-10.00	-11.40	-11.06
-14.65	-13.50	-14.65	-14.85
-17.90	-17.00	-17.90	-18.10
-21.15	-20.50	-21.15	-21.35
-24.40	-24.00	-24.40	-24.60
-27.65	-27.50	-27.65	-27.85
-30.90	-31.00	-30.90	-31.60

En la **Tabla 6.2.** se detalla las alturas de los muros por anillo y la diferencia que existe entre los niveles de unión de muros y las losas de entrepiso de los sótanos. En la modulación se nota una diferencia amplia al comienzo, la cual irá disminuyendo conforme avanza la construcción hasta llegar al último anillo; en cambio, en la alternativa propuesta en el proyecto Panorama la diferencia se disminuye desde un inicio. A partir del cuarto anillo la diferencia de 20cm se disimula en la costura de la unión de los muros y en el último anillo la diferencia de 70cm se compensa en la cimentación del muro.

**Tabla 6.2.** Comparación alturas de paños y diferencia de ubicación de la costura de muro con la se entrepiso.

Propuesta inicial de Terratest		Alternativa Panorama	
Altura	Dif.	Altura	Dif.
+0.00	+0.00	+0.00	+0.00
-3.00	-1.50	-3.50	-1.00
-3.50	-1.45	-3.80	-0.67
-3.50	-1.40	-3.80	-0.34
-3.50	-1.15	-3.80	-0.10
-3.50	-0.90	-3.15	-0.10
-3.50	-0.65	-3.15	-0.10
-3.50	-0.40	-3.15	-0.10
-3.50	-0.15	-3.15	-0.10
-3.50	-0.10	-3.15	-0.70

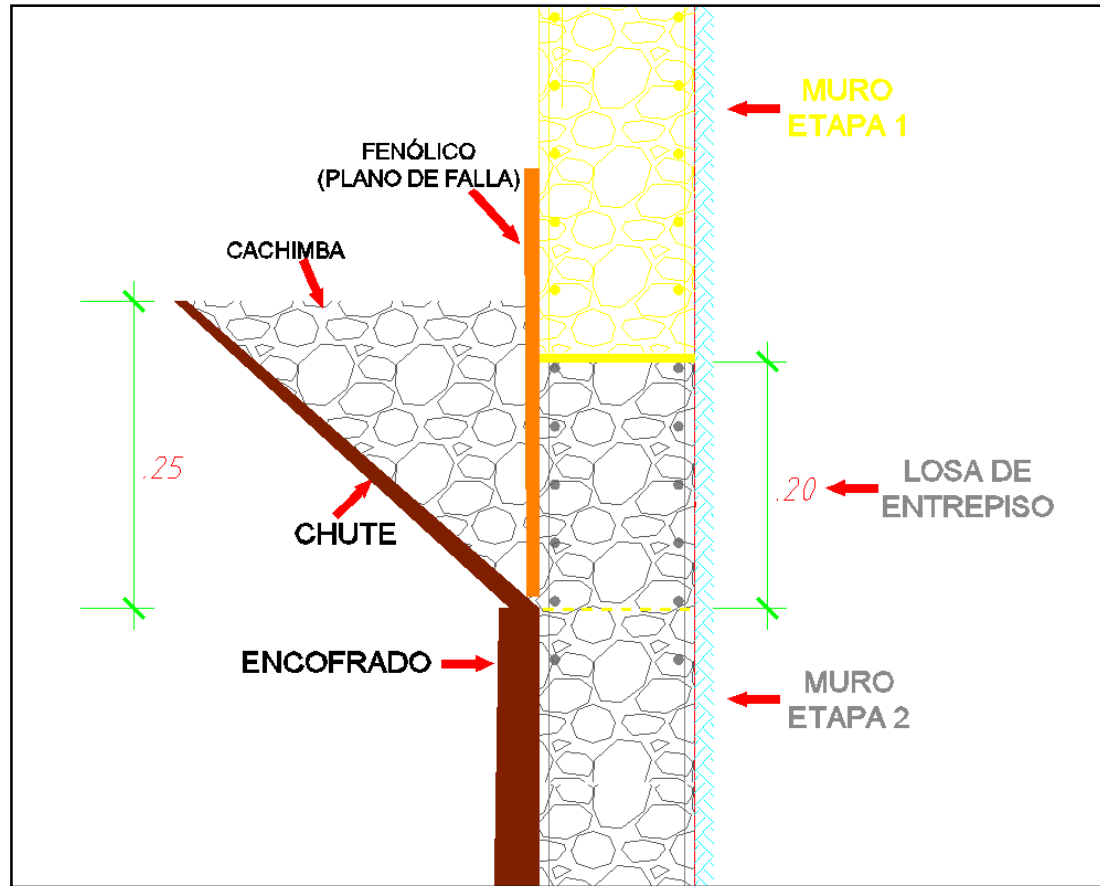
## 6.2. Diseño alternativo para el tratamiento de cachimbas.

Para el vaciado de los muros anclados se utiliza una estructura conformada por tablonces de madera llamada chute. Se instala en la parte superior del encofrado formando un plano diagonal. De esta forma servirá de ayuda para transportar e introducir por gravedad el concreto premezclado dentro del encofrado.

Para asegurarnos que el concreto llene completamente el molde del encofrado, el chute se instala de tal manera que su parte más alta esté 5cms arriba del nivel de la unión de los muros (Ver **Fig. 6.4**). Se le recubre con una capa de plástico para evitar que el concreto pueda adherirse a los tablonces.

Al momento del vaciado, llena en su totalidad al chute. El concreto que queda afuera del molde formando un molde en el chute se le denomina cachimba. Esta cachimba será demolida en cada anillo para poder brindarle una visión uniformemente plana a la unión de los muros y liberar las mechas de la losa de entrepiso que queden dentro del vaciado.





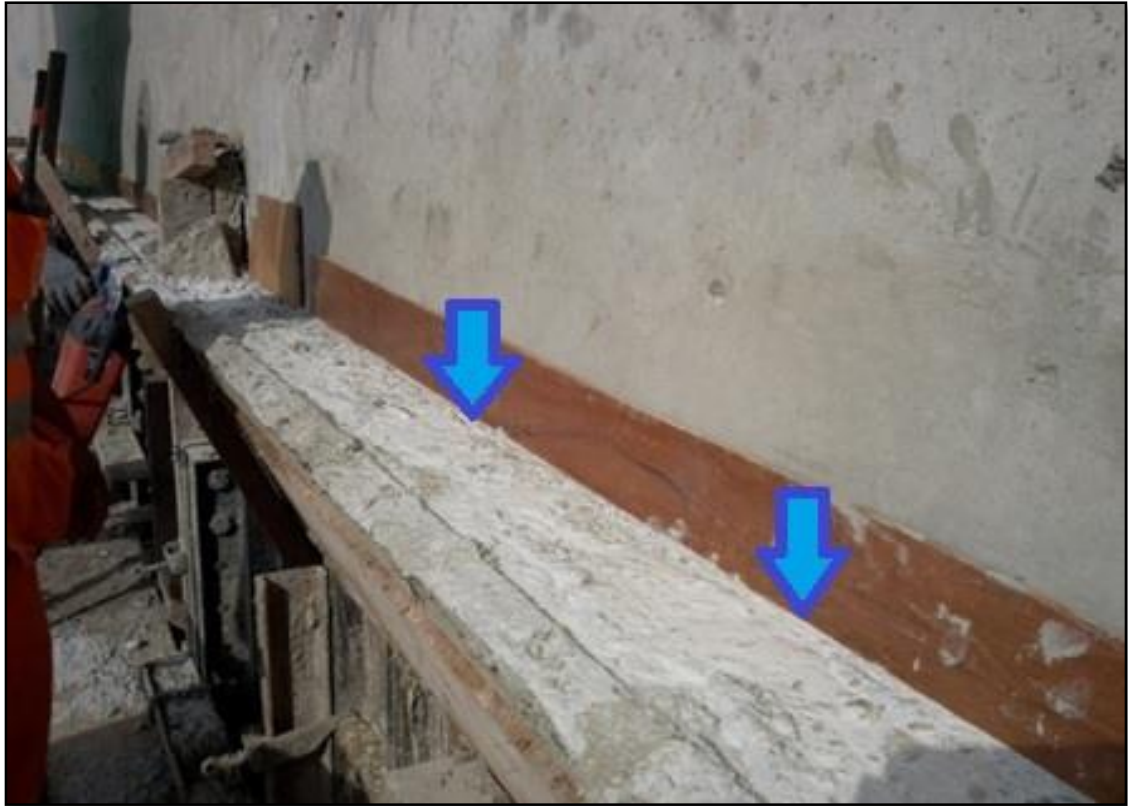
**Fig. 6.4.** Esquema del chute y el plano de falla.  
(Fuente: Propia)

El procedimiento tradicional para el tratamiento de cachimbas consume horas hombre, horas máquinas y equipos. Un operario se encarga picar la cachimba entera usando un taladro para el concreto y una cizalla para quitar el alambre que haya quedado en la cachimba.

La alternativa desarrollada en el proyecto busca minimizar el uso de horas hombre y horas máquina para este procedimiento. Se ideó implementar una plancha de fenólico de 6mm, la cual se colocará entre la cachimba y el muro luego de haber culminado el vaciado. En esta posición, la plancha de fenólico creará un plano de falla entre la cachimba y el muro, separándolos parcialmente (Ver **Fig. 6.5.**). De esta manera, cuando el concreto ya completó su endurecimiento, la cachimba quedará separada casi de manera total del muro, dejando de formar parte de la estructura monolítica y siendo más fácil el procedimiento para su demolición.

Al momento de retirar la cachimba, primeramente el operario retira los tablonés que conforman el chute junto con el plástico, luego deberá usar un martillo para demoler

la estructura o con golpe de retroexcavadora, disminuyendo drásticamente las horas hombre y horas máquina para este proceso.



**Fig. 6.5.** Plancha de fenólico que separa a la cachimba del muro.  
(Fuente: Propia)

### **6.3. Categorización de las mejoras.**

#### **6.3.1. Proceso de ejecución.**

Una vez ejecutado el análisis previo a la ejecución de las alternativas, estas fueron puestas en acción en campo. Las mejoras al proceso constructivo presentan los siguientes resultados.

#### **6.3.2. Costo**

En primer lugar, presentaremos el ahorro generado en el proyecto gracias a estas alternativas constructivas.

### a.- Diseño alternativo de distribución de paneles en muro anclados.

Gracias a este diseño no se necesitó ejecutar el resane típico a cinco líneas de costuras. Este consume 2.67HH por cada ml a tratar. La hora hombre de un operario albañil está cotizada en S/.14.00 aproximadamente, es decir que cada metro lineal por resanar costaría **S/.37.60**.

El perímetro del proyecto es de 380m, pero solo 280m están utilizando muros anclados desde el primer anillo. Esto genera un total 1,400ml ahorrados en resane, los cuales representarían un aproximado de **S/.52,000.00** ahorrados en el proyecto gracias a esta modulación.

### b.- Diseño alternativo para el tratamiento de cachimbas.

De la misma manera se ejecuta el análisis para el tratamiento de las cachimbas. En una demolición tradicional, dos operarios tardan 40min en demoler 5m de cachimba, pero utilizando el plano de falla optimizamos este ratio hasta lograr que los mismos dos operarios puedan demoler una línea de 10m en 15 minutos. De manera más concisa podemos decir que en un método convencional un operario se demoraría 16min en demoler un metro de cachimba, mientras que en el proyecto hemos logrado minimizar este número hasta 3min, **menos de la quinta parte**.

Está mejora en el tiempo de picado se ve traducida en ahorro. Teniendo en cuenta que la hora hombre de operario está cotizada en S/.14.00 y la hora máquina de un martillo de 11kg en S/.6.00 aproximadamente minimizamos el costo del picado en S/.4.33 por metro lineal. Este ahorro se verá reducido por el uso del fenólico, el cual se valora en S/.0.42 la plancha de 6mm. Finalmente se obtiene el ahorro total gracias a este procedimiento: **S/.3.91** por ml de picado.

En el proyecto tenemos 9 niveles de sótanos, 8 de los cuales que necesitarán demolición en la costura. Con un perímetro total de 380m obtenemos el valor final de **S/.11,900.00** ahorrados debido a esta segunda alternativa constructiva.

### 6.3.3. Productividad

De igual manera, debido a estas alternativas se necesita una menor cantidad de horas hombre para la cuadrilla de concreto, puesto que en ella se cargan las horas utilizadas para picado y resanes de muro.

En el proyecto se tiene un índice de productividad compromiso de 2.50 HH/m<sup>3</sup>; no obstante, los resultados de campo nos botan un real de 1.925. Tomando en cuenta que se vacían 200m<sup>3</sup> de concreto promedio, al día se utilizan 385 HH en ello.

Al considerar la cuadrilla necesaria para el resane y el picado se deberían añadir 4 personas, las cuales cumplirían una jornada de 9 horas y generarían 36 HH extras. Esto aumentaría las horas hombre totales a 421 y el ratio subiría a 2.105.

#### 6.3.4. Calidad

En una modelación de encofrado tradicional, es normal que las costuras dejadas por la unión de los muros de sótano se ubiquen en medio de lo será la pared del sótano. Estas franjas que se generan en cada anillo tendrán como consecuencia un desplome notorio en cada nivel de sótanos. Este desplome siempre estará presente debido a que el muro inferior sobresaldrá unos milímetros en comparación al paño de nivel superior, son vaciados en diferentes etapas.



**Fig. 6.6.** Cara uniforme de los muros pantalla.  
(Fuente: Propia)

Debido a que en la alternativa presentada el muro del sótano será ejecutado en una sola etapa, el desplome quedará disimulado en la cara del muro. De esta manera se evitarán picados en las caras de los muros vaciados en dos etapas.

#### 6.3.5. Seguridad

El polvo de cemento es uno de los principales agentes de complicaciones respiratorias en los albañiles. Su constante exposición hacia este podría causar problemas



tan graves como tumores en los pulmones, por ende es importante que el contratista brinde los equipos de protección necesarios para esta labor y de las charlas de inducción acerca del correcto uso de estas a los trabajadores. Sin embargo, estas precauciones no siempre son efectivas al 100%, impactando en la salud de tanto trabajadores como ingenieros, más aún con la gran cantidad de niveles de sótanos que se tiene hoy en día, escenario en el cual la ventilación y extracción del polvo se dificulta cada vez más.

La ventaja de poseer un panelado optimizado es que nos da como resultado un muro prácticamente acabado (Ver **Fig. 6.7.**), entonces se posee una cuadrilla de albañiles cuya labor es ejecutar la limpieza de los muros (solaqueo básico) a la par con la construcción de los anillos, es decir que esta cuadrilla baja limpiando todos los anillos. Al ejecutar este procedimiento durante el movimiento de tierras, el polvo generado en consecuencia de este procedimiento es liberado directamente a la atmósfera. Esta situación es una gran ventaja para la cuadrilla de albañilería, puesto que cuando toque realizar los trabajos de albañilería en los sótanos la gran mayoría del polvo ya se habrá eliminado.



**Fig. 6.7.** Acabado uniforme de los muros.  
(Fuente: Propia)



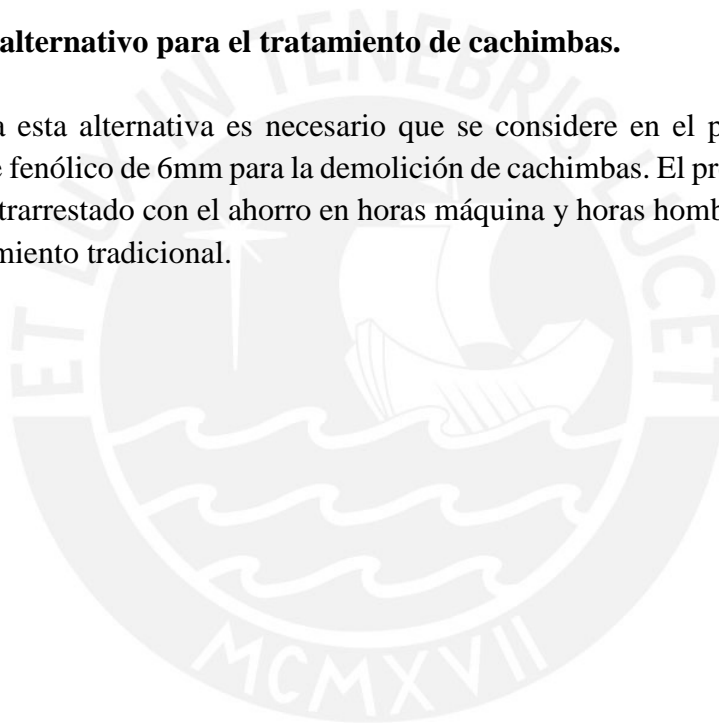
#### **6.4. Requerimiento de las alternativas.**

##### **a.- Diseño alternativo de distribución de paneles en muro anclados.**

Para poder ejecutar este procedimiento es necesaria una coordinación entre el subcontratista encargado de los anclajes y el contratista constructor. La subcontrata diseña el alto de los muros de manera convencional, con lo cual se genera el desfase inicial entre los altos de entrepiso y los muros, por esto es tarea de los ingenieros constructores optimizar la modulación de los encofrados en coordinación con el subcontratista para obtener una aprobación del diseño propuesto por estos y empezar la ejecución de los anillos.

##### **b.- Diseño alternativo para el tratamiento de cachimbas.**

Para esta alternativa es necesario que se considere en el presupuesto el uso de planchas de fenólico de 6mm para la demolición de cachimbas. El precio de estas planchas se verá contrarrestado con el ahorro en horas máquina y horas hombre que representarían un procedimiento tradicional.



## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

Los muros anclados son necesarios en la actualidad para un proyecto de edificaciones en la ciudad de Lima debido a la gran cantidad de sótanos que se requiere, siendo este procedimiento de sostenimiento de taludes el más seguro para los niveles bajo tierra a los que se llegan.

A pesar de tratarse de una sola etapa del proyecto, esta presenta una gran cantidad de variables que deben ser estudiadas y dominadas para poder presentar una alternativa constructiva que genere una mejora en los rubros más importantes de todo proceso como son el costo, el plazo, la calidad y la seguridad.

La partida de muros anclados representa el 3.32% del total del presupuesto venta del proyecto, siendo un monto por encima de los S/. 3'000,000.00. Además, el tiempo utilizado en su ejecución es el 30% del cronograma venta del proyecto.

Entendiendo la importancia que tiene la construcción de muros anclados en el proyecto, se identificaron las observaciones más recurrentes durante su proceso constructivo, la causa raíz de su aparición y se plantearon dos alternativas constructivas para optimizar la construcción de los muros.

Se identificó una gran cantidad de observaciones por burbujas en el proyecto, para lo cual se identificaron dos causas principales: la forma y tiempo de vibrado durante el vaciado y el efecto del desmoldante en la limpieza de las latas de encofrado. Para estas causas se presentaron posibles medidas preventivas y se cuantificaron para validar su funcionamiento.

Se realizó un control exhaustivo de la cantidad de desplomes para todos los muros del proyecto, el cual evidencia que los anillos en los cuales ya entra a tallar el modelado de los paneles (4-9) poseen un menor desplome en su superficie. Queda comprobado que el uso del diseño alternativo del panelado ayuda a disimular el desplome en la cara de los muros de sótanos, ahorrando costo de horas hombre en picado, tarrajeo y materiales de resane.

Se evidencia que la cantidad de material por eliminar en el proyecto puede ser un factor a favor durante el proceso constructivo de los muros anclados. Durante la construcción de muros anclados se pudieron utilizar camas de material de 3m como refuerzo adicional en los paneles de encofrado de los anillos inferiores, lo cual influyó en la disminución de desplomes en estos anillos.

Se debe tener en cuenta los efectos del tipo de slump y de los acelerantes de fraguado que requerirán en el proyecto durante el planeamiento inicial, ya que estas variables influyen directamente en el acabado de los muros, como en la aparición de burbujas y cangrejas. Así mismo tener en cuenta que la longitud de la tubería y la temperatura ambiente influirán en el momento del vaciado.

La mejora en la calidad de los muros ha sido el principal beneficio que este estudio ha encontrado. De esta mejora derivan las demás, ya sea el ahorro en el costo, la mejora en la productividad, la seguridad, etc. Adicionalmente se presenta el hecho de presentarle al cliente un producto bien hecho desde el inicio, lo cual genera confianza hacia el contratista.

El uso de ambas alternativas generó un ahorro de **S/.63,990.00**, principalmente ahorro en mano de obra y materiales. Se comprueba que las alternativas propuestas en el planteamiento inicial del proyecto funcionaron óptimamente durante la ejecución del sostenimiento de taludes.

Adicionalmente al número ahorrado en costo de horas hombre y materiales, se pueden añadir variables que cuya cuantificación es más ambigua, por ejemplo la seguridad para la salud de los trabajadores frente a la eliminación previa del polvo, la disminución de los desplomes en los anillos inferiores o la satisfacción del cliente frente a un acabado inicial óptimo y visualmente agradable de los muros de los sótanos, variables que a pesar de no estar cuantificadas en este documento, suman a favor de la elección de estas alternativas constructivas.

Se analizaron los ratios de productividad en las cuadrillas de acero, encofrado y concreto durante la etapa de sostenimiento de taludes y se evidenció una mejora en estos, especialmente en la cuadrilla de concreto, pues en esta cuadrilla se reducen las horas hombre gracias a las alternativas. En adición, el IP de las demás partidas también mejoraron gracias al flujo de actividades que asegura la construcción de muros con un óptimo acabado.

## 7.2. Recomendaciones

- Cada etapa de un proyecto es un proceso complejo que posee una gran variedad de procesos constructivos, los cuales deben siempre tener una constante supervisión, en miras de controlar cada etapa del proceso e identificar las mejoras aplicables dependiendo de las condiciones del proyecto.
- Las mejoras propuestas en los procesos constructivos deben poseer innovación, originalidad, variación y contemplar sus efectos en el costo, el plazo, la calidad, la productividad y la seguridad del proyecto.
- Debido a la gran cantidad de burbujas que se tuvo en los anillos superiores se recomienda tener un mayor control del efecto del desmoldante en las latas de encofrado desde el inicio de la construcción de los muros para cuantificar resultados y ejecutar un cambio en el producto de ser necesario.
- Se recomienda ejecutar un control de desplomes en todos los paños de encofrado
- Durante la etapa de excavaciones siempre habrá material excedente que puede ser utilizado como refuerzo a los paneles de encofrado, se recomienda utilizar siempre este refuerzo ya que los paneles de los muros están apoyados al terreno, disminuyendo la fuerza de contención que ejerce en contra del concreto para evitar desplomes.
- Las tuberías de concreto son un agente importante durante el vaciado de los muros. Ellas influyen en la aparición de burbujas y de cangrejeras. Se recomienda que durante el vaciado de concreto las tuberías cubran la menor longitud horizontal posible. Además se debe mandar a mantenimiento estas tuberías quincenalmente para evitar posibles obstrucciones en su interior.
- Se recomienda implementar el uso de estas alternativas constructivas en proyectos mayores a 5 sótanos, los cuales son muy usuales hoy en día en la ciudad de Lima. Estas alternativas pueden generar un ahorro en mano de obra, materiales y equipos en la etapa de excavaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- DEB, Sonjoy  
2012 “Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures”.  
<<http://www.masterbuilder.co.in/data/edata/Newsletter/V4N2/88.pdf>>
- REIMBERT, Marcel  
1976 “Muros de contención: tratado teórico y práctico”. BARCELONA:  
TÉCNICOS ASOCIADOS. 3ra Edición. Barcelona.
- Coll Calderón, Jorge  
1996 “Muros pantalla de concreto armado: solución alternativa para  
excavaciones profundas en la ciudad de Lima.” Lima.
- SENCICO  
2011 “Norma E 0.50 Suelos y Cimentaciones. Lima”  
<<http://www.sencico.gob.pe/gin/pdf/NTEE050octubre2011.pdf>>
- SENCICO  
2011 “Norma E 0.60 Concreto Armado. Lima”  
<<http://www.sencico.gob.pe/gin/pdf/NTEE020octubre2011.pdf>>
- BLANCO, Antonio  
2013 “Problemática del análisis de muros de sótanos”. Lima
- BLANCO, Antonio  
2013 “Conferencia: Sistemas de estabilización del terreno para el caso de  
excavaciones de edificios con sótanos.”. Lima.
- TERRATEST  
2013 “Aspectos constructivos, consideraciones de diseño y monitoreo de  
muros anclados en excavaciones profundas. Caso práctico: Edificio  
Cipreses Lima.” Lima.
- RANKE/OSTEMAYER  
1968 “Una contribución al cálculo de estabilidad de muros de excavaciones  
sostenidos por anclajes múltiples.”



CASTRO, Rafael/ RAMOS, Alvaro

2014 “Mejoras constructivas para la mejora en el acabado de los muros anclados.” Concurso de Papers: “Paper del año Graña y Montero”.

GyM

2012 “Manual de tolerancias para edificaciones”. Lima

