

Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

Vicerrectorado de  
**INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**“MUROS ANCLADOS EN SUELO ARENOSO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL  
CENTRO COMERCIAL DE LA MOLINA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

**IZARRA MENDOZA RAÚL KAROL**

**ASESOR:**

**MG. AYBAR ARRIOLA GUSTAVO ADOLFO**

**JURADOS:**

**Dr. CANCHO ZUÑIGA GERARDO ENRIQUE**

**Dr. RAMOS FLORES MIGUEL ANGEL**

**Ms. TABORY MALPARTIDA GUSTAVO AUGUSTO**

**LIMA – PERÚ**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por todo el apoyo y su guía en cada etapa de mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional Federico Villarreal, mis gracias eternas por la formación profesional que me brindó en sus aulas en esta maravillosa profesión que es la Ingeniería Civil.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
I. INTRODUCCIÓN .....	15
1.1 Descripción y formulación del problema .....	15
1.2 Antecedentes .....	16
1.3 Objetivos .....	22
a) Objetivo general.....	22
b) Objetivos específicos .....	23
1.4 Justificación.....	23
1.5 Hipótesis.....	24
II. MARCO TEÓRICO .....	25
2.1 Bases teórica sobre muros anclados.....	25
2.2 Muros de contención.....	25

2.3 Muros apuntalados .....	26
2.4 Muros en voladizo .....	26
2.5 Muros anclados – anclaje temporal.....	26
<b>III. MÉTODO.....</b>	<b>28</b>
3.1 Tipo de investigación .....	28
3.2 Ámbito temporal y espacial.....	28
3.3 Variables.....	33
3.4 Población y muestra .....	33
3.5 Instrumentos .....	34
3.6 Procedimientos .....	34
3.7 Análisis de datos.....	35
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>60</b>
4.1 Observaciones encontradas en el acabado de la construcción de los muros .....	60
4.1.1 Desplomes .....	60
4.1.2 Cangrejeras.....	68
4.1.3 Fisuras .....	74
4.1.4 Segregaciones.....	78

4.1.5 Juntas frías.....	82
4.1.6 Burbujas .....	86
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	94
5.1 Elementos que afectan la calidad del acabado de los muros.....	94
5.2 Optimización de los procedimientos de trabajo. ....	108
VI. CONCLUSIONES .....	140
VII. RECOMENDACIONES .....	141
VIII. REFERENCIAS .....	142
IX. ANEXOS.....	143
Anexo 01 .....	144
Panel fotográfico .....	144
Anexo 2: .....	149
Planos .....	149

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo 3D del Proyecto.....	28
Figura 2: Áreas de los sótanos 5, 4, 3.....	30
Figura 3: Áreas de los sótanos 2, 1.....	31
Figura 4: Excavación masiva proyecto C.C. la Molina.....	38
Figura 5: Perforación de terreno C.C. La Molina.....	39
Figura 6: Perfilado de muro C.C. La Molina. ....	41
Figura 7: Excavación de banquetas C.C. la Molina. ....	42
Figura 8: Acero ya instalado, mechas enterradas C.C. La Molina.....	43
Figura 9: Encofrado de muro C.C. la Molina.....	46
Figura 10: Esquema de encofrado de un muro anclado. ....	47
Figura 11: Vaciado de muro C.C. la Molina. ....	48
Figura 12: Desencofrado usando una excavadora para movilizar los dados de concreto C.C. la Molina. ....	50
Figura 13: Curado de muro C.C. la Molina.....	51
Figura 14: Resane necesario en la zona del anclaje. ....	52
Figura 15: Tensado de anclajes .....	53

Figura 16: Espacio dejado para una posterior inyección.....	55
Figura 17: Control de desplomes – EJE B-B .....	64
Figura 18: Control de desplomes – EJE 4-4.....	64
Figura 19: Control de desplomes – EJE L-L.....	65
Figura 20: Control de desplomes – EJE 16-16.....	65
Figura 21: Control de desplomes EJE B - B .....	66
Figura 22: Control de desplomes EJE 4 – 4 .....	66
Figura 23: Control de desplomes EJE L – L .....	66
Figura 24: Control de desplomes EJE 16 – 16 .....	67
Figura 25: Refuerzos de dados de concreto en el encofrado.....	68
Figura 26: Cangrejera en muro.....	69
Figura 27: Cangrejera en la zona de refuerzo de anclaje .....	70
Figura 28: Demolición de muro .....	73
Figura 29: Reparación de muro.....	73
Figura 30: Presencia de fisura en muros del proyecto.....	78
Figura 31: Segregación en muros.....	80
Figura 32: Junta fría en un muro. ....	85

Figura 33: Muro con presencia de Burbujas .....	86
Figura 34: Ejes del Proyecto. ....	89
Figura 35: Eje B - B del Proyecto. ....	90
Figura 36: Eje 4 -4 del Proyecto.....	90
Figura 37: Eje L – L del Proyecto. ....	91
Figura 38: Eje 16 - 16 del Proyecto.....	91
Figura 39: Correcta manera de realizar el vibrado. ....	96
Figura 40: Burbujas. ....	97
Figura 41: Cangrejas. ....	98
Figura 42: Refuerzo tradicional utilizado en el encofrado de muros. ....	105
Figura 43: Esquema del chute y plano de falla. ....	109
Figura 44: Plancha de manera que separa a la cachimba. ....	111
Figura 45: Procedimiento erróneo realizado en algunos proyectos. ....	112
Figura 46: Proceso errado, luego se corrigió.....	113
Figura 47: Trabajo mejorado. ....	114
Figura 48: Acero sin protección. ....	115
Figura 49: Sobre excavación para mechas .....	116

Figura 50: Protección del acero.....	116
Figura 51: Protección del acero en obra.....	117
Figura 52: Sobre excavación vecina – muro de concreto a picar.....	118
Figura 53: Forma incorrecta de realizar el picado por sobre excavación.....	119
Figura 54: Forma correcta de realizar el picado por sobre excavación.....	120
Figura 55: Muros atrapados en zona de rampa.....	121
Figura 56: Muros atrapados en zona de rampa.....	121
Figura 57: Uso de fajas transportadoras.....	122
Figura 58: Uso de fajas transportadoras para la eliminación de material. ....	125
Figura 59: Desplome máximo. ....	126
Figura 60 Sin contra flecha .....	126
Figura 61: Acción de prevención. ....	127
Figura 62: Acción de prevención. ....	127
Figura 63: Contra flechas en el encofrado.....	128
Figura 64: Excavación de paños consecutivos. ....	129
Figura 65: Avance de la construcción de los muros.....	131
Figura 66: Placa metálica instalada en diagonal. ....	132

Figura 67: Resane después de desencofrado. ....	133
Figura 68: Foto 1. ....	145
Figura 69: Foto 2. ....	146
Figura 70: Foto 3. ....	147
Figura 71: Foto 4. ....	148
Figura 72: Plano N°1 de corte de muros de sótanos. ....	150
Figura 73: Plano N°2 de corte de muros de sótanos. ....	150

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Presupuesto Contractual Muros Perimétricos Centro Comercial la Molina. ....	56
Tabla 2: Clasificación de segregaciones .....	79
Tabla 3: Resumen de tolerancias.....	93
Tabla 4: Resumen del uso de los desmoldantes. ....	95
Tabla 5: Relación entre el Slump VS tiempo de vibrado .....	96
Tabla 6: N° sótanos y Utilización de fajas. ....	124

## **RESUMEN**

La presente tesis titulada “MUROS ANCLADOS EN SUELO ARENOSO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO COMERCIAL DE LA MOLINA”, tiene por finalidad describir el procedimiento constructivo de muros anclados en suelo arenoso para la edificación de centros comerciales.

A su vez, busca definir cuáles serán las principales causas de No Conformidades (si las hubiera) dentro de la construcción de los muros anclados durante la etapa de excavación. Ello se complementará con el planteamiento de posibles opciones de mejora al procedimiento constructivo de muros anclados a fin de obtener resultados más beneficiosos en tiempo y costos.

El tema elegido para la tesis a desarrollarse se justifica debido a que, actualmente, durante la etapa constructiva de los muros anclados en las obras, es muy común la aparición de desviaciones por encima del nivel de tolerancia aceptada.

**Palabras clave: Muros anclados en suelo arenoso.**

## **ABSTRACT**

This thesis entitled "WALLS ANCHORED IN SANDY SOIL FOR THE CONSTRUCTION OF THE MOLINA MALL", aims to describe the constructive procedure of walls anchored in sandy soil for the construction of shopping centers.

At the same time, it seeks to define what will be the main causes of non-conformities (if any) within the construction of the anchored walls during the excavation stage. This will be complemented with the proposal of possible improvement options for the constructive procedure of anchored walls in order to obtain more beneficial results in time and costs.

The theme chosen for the thesis to be developed is justified because, currently, during the construction phase of the walls anchored in the works, it is very common the appearance of deviations above the accepted tolerance level.

**Keywords: Walls anchored in sandy soil**

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Descripción y formulación del problema

En la actualidad, durante la etapa constructiva de los muros anclados es muy común la aparición de desviaciones por encima del nivel de tolerancia aceptada. Estas desviaciones son No Conformidades que se presentan en las obras y dentro de ellas podemos mencionar, por ejemplo: desplomes, segregaciones, cangrejeras, burbujas, o cualquier otra imperfección que puede ocurrir en el muro. De esta manera, si se realiza de manera deficiente la construcción de muros anclados, esto puede tener implicancias muy negativas en la obra, como pérdidas de materiales, de horas-hombre y equipos; lo cual acarrea a su vez considerables pérdidas económicas. La presente tesis tomará como ejemplo los muros anclados que se llevarán a cabo en el Centro Comercial de la Molina.

Así, la presente tesis busca responder las siguientes preguntas:

¿De qué manera deben construirse los muros anclados en suelos arenosos?

¿Cuáles serán las principales causas de las No Conformidades (si las hubiera) dentro de la construcción de los muros anclados durante la etapa de excavación en el Centro Comercial La Molina?

## 1.2 Antecedentes

### a) En el ámbito internacional

Rosero (2015) señala en la tesis titulada “Análisis y diseño de muros anclados de hormigón armado y su aplicación en la estabilización de excavaciones profundas de subsuelos”, tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil por la Universidad Técnica de Ambato – Ecuador, tiene por objetivo principal, desarrollar un documento técnico en el cual se presenten las características, análisis, procedimiento de cálculo, diseño, y verificación de muros anclados de hormigón armado y su aplicación en la estabilización de excavaciones profundas de subsuelos.

Teniendo como resultado las siguientes conclusiones:

- Aunque entre los estudiantes que están terminando la carrera de Ingeniería Civil se tiene una idea clara de lo que son los muros de contención, se desconoce sobre el tema específico de muros anclados, su definición, análisis y diseño, así como los usos determinados que se puede dar a este tipo de muros, como es el caso de la estabilización de excavaciones profundas de subsuelos.

- Está claro que se utilizan en la actualidad los programas de computador para ayudarnos a resolver rápidamente los problemas de cálculo estructural, sin embargo, al no conocer el estudiante sobre los muros anclados, tampoco tiene claro que programa informático que debe utilizar para resolver este tipo de estructura.
- Dentro de las muchas actividades de cálculo de diversas estructuras, varias veces se recurre al programa de hoja electrónica para automatizar cálculos, sin embargo, al momento de encuestar sobre el uso de programas como Excel no se lo toma en cuenta como un instrumento de ayuda para automatizar cálculos y obtener mejores dimensionamientos que nos permitirían trabajar con diseños más óptimos y en un menor tiempo.

Artacho (2010), señala en la tesis titulada “Solución constructiva para excavaciones en suelos de textura arenosa, mediante el diseño de un muro contención con pilas ancladas - Estudio particular”, tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil en Obras Civiles por la Universidad Austral de Chile – Chile, tiene como objetivo principal, realizar el diseño de un sistema de contención con pilas ancladas para un proyecto de ingeniería proyectado en un suelo de textura arenosa y determinar la mejor elección entre: el sistema de pilas ancladas y el de muros con contrafuertes.

Teniendo como resultado las siguientes conclusiones:

- El costo de un muro con contrafuertes, con las condiciones antes descritas, es aproximadamente un 11% menor que uno con pilas ancladas. En este caso solo fue considerado el costo del muro. Sólo la excavación y el relleno representan un 42 % del valor total de dicha construcción, para las condiciones dadas.
- El muro de pilas ancladas requiere poco espacio y contiene al terreno desde el primer momento, evitando deslizamiento de tierra y destrucción de estructuras aledañas.
- Los anclajes al terreno son un sistema de gran costo, pudiendo alcanzar hasta el 71% de los costos totales de la obra gruesa de dicha construcción.
- La redistribución de presiones para muros anclados planteado por la CDT, entrega diagramas de presiones más realistas, disminuyendo la profundidad de empotramiento de diseño y aumentando la tensión en el anclaje.
- Comparando los resultados obtenidos sin redistribución con los redistribuidos por la CDT se tiene que, para el caso sin sismo, la profundidad de empotramiento se redujo en un orden de un 7.5% (de 2.14m a 1.978m) y la tensión en el anclaje aumentó en un 1.46% (de 30.365 a 30.815tonf). En el caso con sismo, la profundidad de empotramiento se redujo en un orden de un 6.07% (de 2.47m a 2.32m), y la tensión en el anclaje aumentó en un 4.08% (de 60,2 a 62.66tonf).

**b) En el ámbito nacional**

Rengifo (2015) señala en la tesis titulada “Muros anclados en arenas, análisis y comparación de técnicas de anclajes”, tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil por la Pontificia Universidad Católica del Perú – Perú, tiene por objetivo principal, conocer, describir y realizar el diseño geotécnico de manera básica y detallada de los distintos tipos de anclajes para muros de sostenimiento de taludes en suelos arenosos y evaluar sus resultados para proyectos con tres sótanos de 9 metros de profundidad.

Teniendo como resultado las siguientes conclusiones:

- Se concluye que es fundamental determinar con la mayor precisión posible el campo de esfuerzos que actúa sobre el terreno. Para ello, son importantes los estudios previos de mecánica de suelos para los reconocimientos en campo y las propiedades índices, que serán básicas para el cálculo a realizar en el diseño y el modelamiento (del suelo propiamente dicho y de los esfuerzos actuantes en el terreno) y, por ende, de las fuerzas de anclajes para mantener la estabilidad de taludes.

- Para esto, se usan softwares auxiliares como Slope/w con el fin de determinar la posible falla del corte del terreno. También, se pueden usar programas más avanzados de diseño de anclajes como GGU Retain, o fórmulas manuales propuestas por los distintos métodos conocidos. El método más aplicado en el Perú, el cual es usado en el presente estudio, es el método alemán de Kranz.
- Los factores que influyen en las fallas de un talud pueden ser externos e internos. Los externos se dan por incrementos de tensiones provocadas por el hombre, en este caso por cortes muy pronunciados o excavaciones empinadas. Los métodos de estabilización de taludes y los cálculos que estos requieren son muy simplificados. Los métodos más utilizados para esto son los métodos de Fellenius y el de Bishop.
- Las técnicas de anclaje tienen similitudes y diferencias entre sí, lo cual, también, da referencias sobre las ventajas y desventajas de utilizar ciertas técnicas. Esto es respecto al costo, tiempo y seguridad, factores importantes y determinantes al momento de elegir la técnica de anclaje a usar. Sin embargo, también, es importante la experiencia y el conocimiento de la técnica, así como que haya personal capacitado en cada instante de la realización de la obra.

Cabellos (2012) señala en la tesis titulada “Análisis comparativo de la estabilización de taludes mediante el uso de muros anclados y calzaduras en la construcción de edificaciones”, tesis para obtener el título de Ingeniero Civil por la Pontificia Universidad Católica del Perú – Perú, tiene por objetivo principal, presentar una metodología para comparar técnica y económicamente los dos sistemas de estabilización de taludes y hacer una comparación de cada proceso en referencia a procedimiento, recursos, tiempo y seguridad.

Teniendo como resultado las siguientes conclusiones:

- En primer lugar, el procedimiento para utilizar anclajes utiliza una tecnología más compleja que en el caso de las calzaduras, por resumir se tiene una máquina perforadora, una inyectora, una tensadora y un grupo electrógeno; por el otro lado, se tiene simplemente una mezcladora de concreto.
- Este hecho hace que utilizar muros anclados esté bajo el mando de personal bien calificado y que conozca a cabalidad todo el procedimiento, en el medio existen varias empresas que asesoran a constructoras nuevas para iniciarlas en el uso muros anclados por lo que deja de ser un impedimento o un obstáculo desconocer del tema.

- En segundo lugar, en el capítulo 3 se pudo apreciar que a medida que aumentan los anillos o el número de sótanos, el ahorro en tiempo de ejecución disminuye si se utilizan muros anclados, este resultado se complementa con el siguiente ya que entre ambos se resume el ahorro principal de la utilización del procedimiento ya mencionado. Según el estudio realizado en esta tesis se tiene que para dos sótanos si se decide utilizar calzaduras se tomará 16% más de tiempo que empleando el otro método y para el caso de 3.5 sótanos el resultado se eleva a 33%.
- En tercer lugar, se tiene el aspecto económico que, según el análisis, resulta más barato emplear muros anclados y con mayor diferencia a partir del tercer sótano (es importante aclarar que la conclusión no aplica para edificios con un solo sótano).

### **1.3 Objetivos**

#### **a) Objetivo general**

Describir el procedimiento constructivo de muros anclados en suelo arenoso para la construcción del Centro Comercial La Molina.

## **b) Objetivos específicos**

- Definir cuáles serán las principales causas de No Conformidades (si las hubiera) dentro de la construcción de los muros anclados durante la etapa de excavación.
- Plantear posibles opciones de mejora al procedimiento constructivo de muros anclados a fin de obtener resultados más beneficiosos en tiempo y costos.

## **1.4 Justificación**

El tema elegido para la presente tesis se justifica debido a que, actualmente, durante la etapa constructiva de los muros anclados en las obras, es muy común la aparición de desviaciones por encima del nivel de tolerancia aceptada.

Estas desviaciones son No Conformidades que se presentan en las obras y dentro de ellas podemos mencionar, por ejemplo: desplomes, segregaciones, cangrejas, burbujas, o cualquier otra imperfección que puede ocurrir en el muro. Allí radica la importancia del tema elegido para la presente tesis, puesto que, si se realiza de manera deficiente la construcción de muros anclados, esto puede tener implicancias muy negativas en la obra, como pérdidas de materiales, de horas-hombre y equipos; lo cual acarrea a su vez considerables pérdidas económicas.

## **1.5 Hipótesis**

Mediante un correcto procedimiento constructivo de muros anclados en suelos arenosos, se podrá llevar de manera eficiente la construcción del Centro Comercial La Molina.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Bases teórica sobre muros anclados.**

Es utilizado en el Perú el vocablo calzadura para muros de contención de gravedad, realizados de una manera provisional cuando se hace una excavación en un terreno colindante con algún vecino o la calle. Es un método común que se realiza en la ciudad de Lima, en nuestro medio el uso de calzaduras es muy usado por las pequeñas y medianas empresas, cabe indicar que no existe un documento técnico que limite su uso, forma y procedimiento.

### **2.2 Muros de contención.**

Los muros de contención tienen como finalidad resistir las presiones laterales o empujes producidos por el material retenido detrás de ellos, su estabilidad la deben fundamentalmente al peso propio y al peso del material que esta sobre su fundación. Los muros de contención se comportan básicamente como voladizos empotrados en su base.

### **2.3 Muros apuntalados**

Este es un tipo de muro pantalla que se puede encontrar en un proyecto de edificaciones, tiene una configuración similar a la de los muros pantalla en voladizo con la diferencia que no presenta una extensión en su base para generar empotramiento, por lo tanto, la manera de resistir los empujes del suelo y los momentos generados es que cuenta con un sistema de apuntalamientos que se colocan en la cara visible de los muros.

### **2.4 Muros en voladizo**

Es una segunda clase de muro pantalla, aunque no es muy utilizada en los proyectos de edificaciones en la capital. Se trata de una placa de concreto armado que no presenta mayor refuerzo que su doble malla de acero interna. Debido al 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 como máximo.

### **2.5 Muros anclados – anclaje temporal.**

Este tipo de muro es el más usado hoy en día en los proyectos de edificaciones de la ciudad de Lima el cual será el tema de estudio de la investigación.

Este último tipo de muro es el más popular ya que se puede construir hasta un aproximado de 10 niveles de sótanos el cual brinda un funcionamiento óptimo y un ahorro notable tanto en tiempo y costos, se compone principalmente de una placa de concreto armado, vaciada in situ junto con un anclaje potenziado que va en medio del muro.

### III. MÉTODO

#### 3.1 Tipo de investigación

Aplicada.

#### 3.2 Ámbito temporal y espacial

La presente tesis se basa en el proyecto Centro Comercial La Molina, el cual se encuentra ubicado en el distrito de La Molina, Lima-Perú. El proyecto se encuentra actualmente en ejecución.

El terreno se encuentra ubicado en la Av. La universidad N° 1012 Urbanización Rinconada Baja. Distrito de la Molina, Provincia y departamento de Lima.

Figura 1: Modelo 3D del Proyecto.



Fuente: Propia.

## **Descripción del proyecto**

### **Arquitectura**

Se realizó la construcción los muros perimetrales anclados que cuenta con cinco sótanos, de los cuales 3 están destinados a estacionamientos cuya capacidad es de 185 automóviles y 3 niveles destinados a áreas comerciales, se considera dos cuartos de almacenamiento de basura de todo el centro comercial, en todos los estacionamientos se ha considerado un cuarto para la extracción de monóxido de carbono con sus respectivos ductos de extracción.

#### **5to. Sótano (cisternas y estacionamientos)**

Área construida: 9, 087.38 m<sup>2</sup>

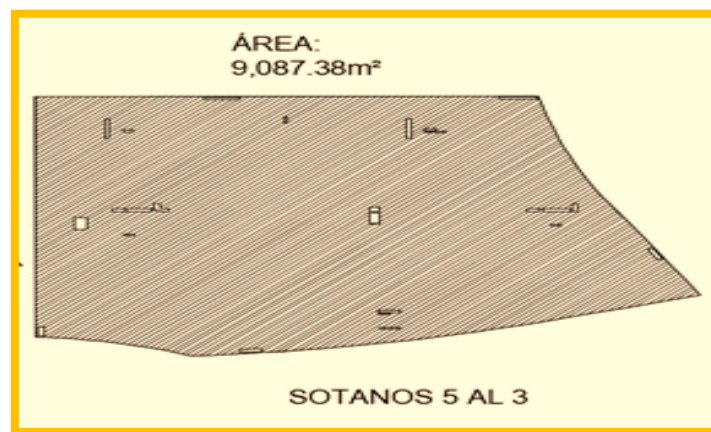
El acceso a este sótano es por medio de dos rampas vehiculares de doble sentido que cuenta con una pendiente de 7.5% + 15% la que se desarrolla de forma paralela a los linderos izquierdo y superior del terreno. Este sótano cuenta con espacio para 130 estacionamientos de los cuales 2 es para personas discapacitadas. Cuenta con 4 ascensores de 3 cabinas cada una, y escalera de evacuación N° 1, 2 que cuenta con sistemas de presurización, se ubica la cisterna de consumo doméstico y la cisterna de reserva contra incendio más el cuarto de bombas para las dos cisternas.

#### 4to, 3ro sótano

Área construida: 9, 087.38 m<sup>2</sup>

El acceso a este sótano es por medio de dos rampas vehiculares de doble sentido que cuenta con una pendiente de 7.5% + 15% la que se desarrolla de forma paralela a los linderos izquierdo y superior del terreno. Este sótano cuenta con espacio para 185 estacionamientos de los cuales 3 es para personas discapacitadas. Cuenta con cuatro ascensores de 3 cabinas cada una, la escalera de evacuación N° 1, 2 con sistemas de presurización, siendo esta escalera la que comunica con todos los sótanos, un cuarto de extracción de monóxido de carbono con su respectivo ducto de extracción, un depósito de propiedad exclusiva del estacionamiento colindante, un ducto de inyección de aire fresco y un ducto de escape de la motobomba contraincendios y un cuarto registrador de acelerógrafo triaxial.

Figura 2: Áreas de los sótanos 5, 4, 3.



Fuente: Propia.

## 2do, 1er sótano

Áreas construidas: Sótano 2: 7,440.45 m<sup>2</sup>, Sótano 1:

Estos sótanos cuentan con cuatro ascensores de 3 cabinas cada una, la escalera de evacuación N° 1, 2 con sistemas de presurización, siendo esta escalera la que comunica con todos los sótanos, un cuarto de extracción de monóxido de carbono con su respectivo ducto de extracción, un depósito de propiedad exclusiva del estacionamiento colindante, un ducto de inyección de aire fresco y un ducto de escape de la motobomba contraincendios y un cuarto registrador de acelerógrafo triaxial, en estos 3 sótanos es exclusiva para centro comercial (bancos, restaurantes y tiendas comerciales) (Ver Fig.3 Der. sótano 2, izq. sótano 1).

Figura 3: Áreas de los sótanos 2, 1.



Fuente: Propia.

## **Estructura.**

El proyecto comprende la construcción de los muros perimétricos del Centro Comercial La Molina, ubicado en el distrito de la Molina, provincia y departamento de Lima. El proyecto consiste en un edificio que comprende el sótano 5 (nivel -20.50), el sótano 4 (nivel -17.40) y sótano 3 (nivel -14.30) para estacionamientos; en el sótano 2 (nivel -10.30), el sótano 1 (nivel -4.80) para tiendas comerciales, bancos y restaurantes; el 1° piso (nivel +6.20), el 2° piso (nivel +9.80) y el 3° piso (nivel +13.40) para gimnasio, oficinas y equipos técnicos y suministro.

La estructura del edificio está basada en una combinación de placas de corte y pórticos de concreto armado que actúan como elementos portantes para cargas verticales de gravedad y cargas horizontales de sismo, esta combinación para el análisis se ha considerado como una estructura dual tipo 1. En los sótanos y techos se han utilizado losas macizas de 200mm; debiendo aplicarse una capa de endurecedor de superficie para los sótanos que sirven como estacionamientos y un contra piso de 50mm para los demás sótanos y pisos con tiendas de comercio y oficinas.

Las cargas de diseño utilizadas son el peso propio de la estructura, el piso terminado (contra piso de 50mm), la tabiquería móvil (zona de oficinas) y las sobrecargas de 250kg/cm<sup>2</sup> (estacionamientos, oficinas y equipos técnicos), 400 kg/cm<sup>2</sup> (gimnasio) y 500kg/cm<sup>2</sup> (tiendas de comercio, bancos y restaurantes).

### 3.3 Variables

- **Variable independiente**

Muros anclados.

- **Variable dependiente**

Construcción de centro comercial La Molina.

### 3.4 Población y muestra

- **Población**

La población es un conjunto reducido o ilimitado con características similares para los cuales las conclusiones de la investigación serán extensas. Esta queda limitada por los objetivos y el problema de la investigación. Para la presente investigación, el universo poblacional estará conformado por los muros anclados de las edificaciones realizadas en Lima.

- **Muestra**

Un subconjunto específico y limitado que se separa de la población es definido como una muestra. En la presente tesis se ha tomado como muestra de investigación los muros anclados a construirse en el proyecto Centro Comercial La Molina ubicado en el distrito de la Molina – Lima.

### **3.5 Instrumentos**

- Revisión de documentos: a través de esta técnica se han revisado normas, manuales, libros, tesis, etc., respecto al tema de muros anclados en suelos arenosos.
- Observación: Esta técnica permitió recolectar información vista en campo.
- Ensayos de laboratorio de suelos: Análisis granulométrico por tamizado; límites de Atterberg, contenido de humedad, clasificación SUCS.

### **3.6 Procedimientos**

- Se hizo el reconocimiento de campo.
- Se han analizado las muestras de suelo obtenidas.
- Se procede a describir las etapas de procedimiento constructivo de los muros anclados.
- Se exponen las observaciones encontradas en los trabajos de acabado de muros a realizarse.
- Se exponen medidas y propuestas para optimizar los procedimientos constructivos.

### **3.7 Análisis de datos**

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

El anclaje que presentan los muros anclados son temporales, estos muros son considerados como elementos estructurales encargados de soportar los empujes laterales generados por el terreno y también por las cargas de las edificios vecinos, hasta el momento que se realice la construcción de las losas de techo de los sótanos, muros, columnas y placas, a partir de ese momento las cargas se reparten, su función final de los muros es actuar como muros perimetrales de la estructura, debido a la función inicial que tienen los muros; estos llevarán una armadura definitiva desde un principio, el cual incluye también el refuerzo de la armadura en la zona del anclaje.

La construcción de todo un anillo está dada por partes, el proceso constructivo de los muros tiene la particularidad de ser intercalado, el cual por experiencia se indica que no se deben vaciar paños mayores de 10.00m, por este motivo se dejan los aceros los cuales servirán de empalmes entre paños laterales como inferiores, también se tiene que dejar las conexiones para las futuras losas de techo, rampas, vigas (si es el caso que vayan embebidas en los muros). Si existen columnas que forman parte de los muros estas llevarán una armadura definitiva y serán construidas de arriba hacia abajo conforme se va avanzando en la construcción de los anillos de los muros.

Luego de construir los primeros muros intercalados, se procede con la excavación y próxima construcción de los muros secundarios, de la misma manera si existieran muros terciarios, los cuales vendrán a completar el anillo. La longitud de los paños dependerá de las estructuras de los terrenos vecinos, existirán casos donde se presenten edificaciones vecinas de gran altura o muros que a simple vista se vean muy frágiles para estos casos se deberá de disminuir la longitud de los paños para evitar que ocurren posibles asentamientos en las edificaciones vecinas.

Para la etapa de ejecución de los muros se deberá contar con un tren de actividades, para lo cual se coordinara con el contratista que se encargara de la perforación, tensado y destensado de los anclajes además con todo el equipo de trabajo que conforman el proyecto en sí, por lo que deberá existir una excelente comunicación para los trabajos de excavación, perforación, construcción y tensado en miras de cumplir con la programación diaria y semanal y no tener restricciones, si se trabaja de una manera segura se lograra llegar a grandes profundidades de excavación, además se deberá respetar las indicaciones de las especificaciones geotécnicas, así se brindara la seguridad de los trabajadores y de las estructuras vecinas.

Una vez construido las columnas, placas, vigas y losas de techo de los sótanos (los cuales están diseñadas para resistir los empujes de los terrenos colindantes), estos anclajes de los muros de los sótanos, en consecuencia, serán destensadas conforme la estructura va subiendo hasta llegar al primer nivel. Por lo cual los muros son diseñados para resistir por ellos mismos la carga vecina en la etapa constructiva y con el soporte de los demás elementos estructurales.

### **Proceso constructivo.**

Se presentará la forma tradicional de la construcción de los muros anclados.

### **Excavación masiva con rampa.**

Se dará inicio con el corte inicial del terreno, se ejecuta la excavación masiva que dará lugar al primer anillo, previo a empezar con esta actividad se deberá realizar una inspección de los muros perimetrales de los edificios vecinos para verificar su estado y también verificar su estabilidad. Para el desarrollo de esta actividad se debe tener bastante cuidado con dejar las banquetas de seguridad para que estas puedan soportar el talud vecino, esto se realizara durante la ejecución de los primeros anillos.

La rampa es una primera opción para iniciar con la excavación y la eliminación de material, aunque existe la desventaja de que a mayor profundidad, más paños quedaran atrapados lo cual se dejaran sin construir, ya que luego se pasara a eliminar el material usando excavadoras, para lo cual se usara una plataforma, el cual se encargara de decepcionar el material y luego otra excavadora se encargara de transportar el material de la plataforma hacia el volquete para su posterior eliminación.

Figura 4: Excavación masiva proyecto C.C. la Molina



Fuente: Propia.

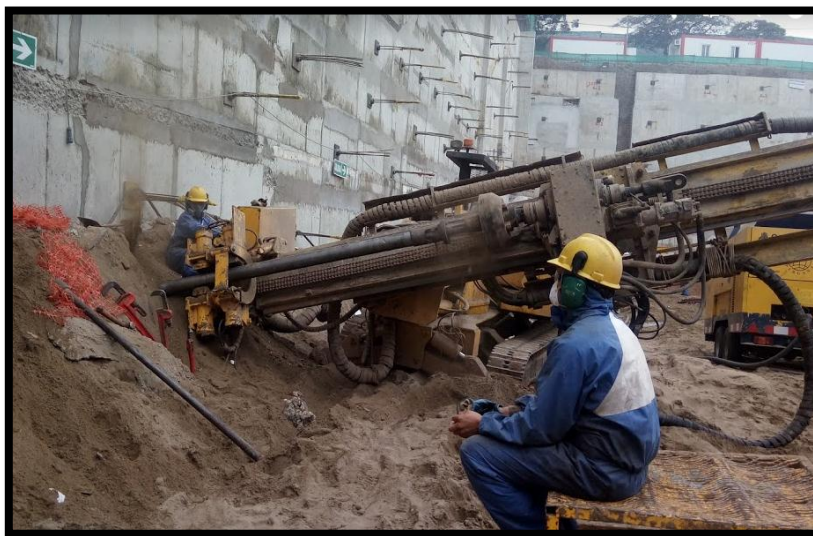
### **Perforación del terreno.**

En este procedimiento de perforación, el subcontratista encargado del diseño de los anclajes es quien desarrollara esta actividad. Normalmente se utiliza un encamisado (tubo de revestimiento), siendo el mismo simultaneo y continuo durante la perforación. El diámetro de la broca es de 115mm máximo. Una vez que se haya terminado las perforaciones del terreno e instalado el bulbo de revestimiento, se procederá con la extracción de las barras de perforación y martillo DTH de la misma y se seleccionara el anclaje. Antes de instalar el anclaje se realizará una limpieza interna del terreno con un equipo llamado hidrocompresora, la cual bombeara agua a presión para eliminar todo el detritus que se encuentre en el interior de la perforación, Finalmente se instalara el anclaje.

Cabe recalcar que en esta etapa se prosigue con la perforación y colocación de los cables, este procedimiento se realiza con máquinas especializadas que perforan el suelo y a la vez introducen la vaina y los cables de acero.

La colocación del anclaje es realizada por personal calificado de la obra ya que es un material demasiado frágil.

Figura 5: Perforación de terreno C.C. La Molina.



Fuente: Propia.

### **Aplicación de lechada de cemento en la perforación.**

Se continua con la aplicación de grout dentro de la vaina con los cables, la cual tiene una relación de agua y cemento a/c 0.40 a 0.45 y sin aditivos súper-fluidificantes.

Esto generara un bulbo en el extremo de la perforación y un recubrimiento a lo largo de los cables de acero. Este procedimiento se puede realizar desde la boca de la perforación en caso no exista nivel freático. En el caso que exista nivel freático el relleno se realizara con lechada mediante vainas de inyección desde el punto inferior de la perforación, desplazando de esta forma el agua hacia la zona superior de la perforación.

### **Instalación del cabezal de inyección.**

Luego se procede con la instalación de cabezal de inyección sobre los tubos de revestimiento, continuando con la extracción de las camisas de revestimiento. Durante la extracción se podrá inyectar lechada a presión por el cabezal superior y se controlará que no filtre en el terreno incontroladamente en el espacio de la zona granular.

### **Perfilado de terreno y excavación de las banquetas.**

Se procede a realizar el perfilado en el terreno, el cual consiste en dejar el terreno con el talud verticalmente afinado, Esta etapa se tiene que realizar con mucho cuidado, ya que esto va a generar variaciones en el ancho del muro, lo cual puede influenciar directamente la resistencia y en los costos.

El corte normalmente se realiza utilizando excavadoras, ya que pueden cortar el suelo rápidamente; mientras que el perfilado se realiza manualmente para dejar un acabado más fino al muro. Para asegurarlo momentáneamente se le aplica una lechada de agua-cemento 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 ya que no es su principal función, a esta actividad se conoce como pañeteo y se realiza con el fin de evitar que el terreno gane o pierda humedad y también se evita los desmoronamientos ligeros, puesto que la cohesión del suelo está vinculada con la humedad presente este es un paso que no se debe de omitir ya que en el diseño se toma un valor de cohesión del suelo, el cual si se ve afectado peligraría la estabilidad del suelo.

Figura 6: Perfilado de muro C.C. La Molina.



Fuente: Propia.

Figura 7: Excavación de banquetas C.C. la Molina.



Fuente: Propia.

### **Habilitación e instalación del acero estructural.**

Finalizado el proceso de la perforación del terreno, lechada de cemento y perfilado del terreno llega el turno de la cuadrilla de aceros el cual se encargara de la habilitación e instalación de las armadura del muro pantalla, que es lo mismo como si fuera una placa de concreto armado con la condición que este lleva un refuerzo el cual ayudara a que el muro no se agriete al momento que este sea tensado, por otro lado se debe incluir la zona de traslapes lo cual se excava un poco más en la zona inferior del paño aproximadamente unos 0.50m, donde se ubicarán los traslapes inferiores. Estos traslapes inferiores se cubren y se vuelven a enterrar, de tal forma que el suelo sirva como encofrado inferior del muro.

Figura 8: Acero ya instalado, mechas enterradas C.C. La Molina.



Fuente: Propia.

Además, se deberá tener en cuenta lo siguiente:

La instalación del acero de refuerzo y tubo de PVC a 15°: Es como indica los planos de distribución de anclajes, el tubo se coloca para que resista la fuerza del concreto cuando este 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 este motivo que se tiene que proteger.

Se dejarán mechas para las futuras losas de los sótanos: De acuerdo al plano de estructuras para que posteriormente sean traslapadas y tejidas.

El topógrafo cumple una función importante: Ya que él se encargará de comprobar el aplomado de la malla. El refuerzo deberá ser alineado verticalmente para que la estructura sea instalada de manera correcta, con la ayuda de una estación total los topógrafos velaran por la buena calidad del trabajo.

Relleno con material en la zona inferior del acero de las mechas, aquí se busca evitar que las mechas cedan ante la fuerza del concreto al momento del vaciado, por lo que se ponen dados de concreto o separadores para obtener el recubrimiento adecuado y los separadores de acero en U para que la doble malla no se hunda o pegue.

### **Encofrado de muro pantalla.**

Luego se procede con la instalación de los encofrados, para este caso se consideró paneles de madera, por un tema de trabajabilidad a continuación se presenta detalladamente el procedimiento de encofrado de un muro anclado:

Colocación de una tabla de madera en el suelo (por encima de la zona enterrada de los traslapes) que servirá de apoyo para los paneles de madera del encofrado.

Colocación de los paneles de madera sobre la tabla base, dejando un recubrimiento a las mallas de acero especificado por el diseñador.

Colocación de las piezas que unirán a los paneles entre sí, luego se colocaran los puntales que van a servir de soporte al encofrado.

Colocación de bloques de concreto o dados de concreto que servirán de apoyo a los puntales. Cabe indicar que después de colocados los dados de concreto, se procede a enterrarlos con la ayuda de una excavadora, para evitar el deslizamiento de estos.

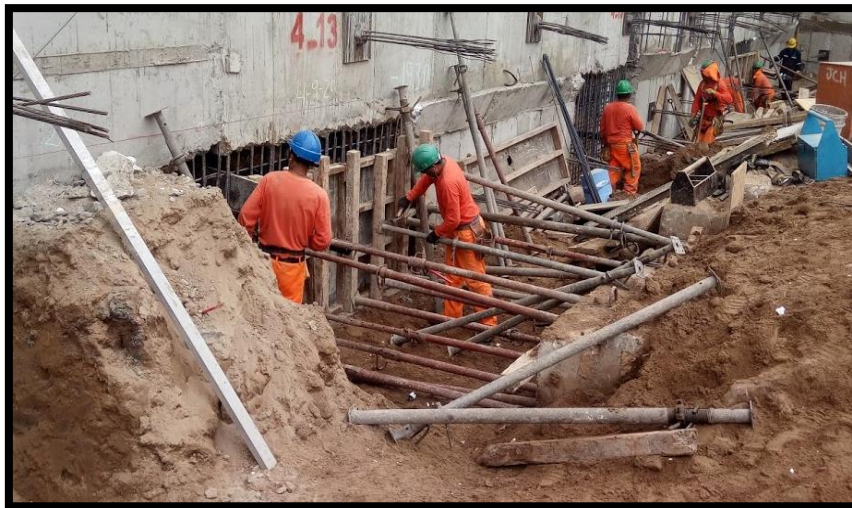
Se apoyan los puntales sobre los dados de concreto enterrados e inmediatamente después se ajustan los paneles.

Colocación de madera que servirá de encofrado lateral (en el caso que los paños adyacentes aún no estén contruidos), usualmente se colocan retazos de fenólicos.

Colocación del chute que servirá para el vaciado del concreto.

En los casos donde existen zonas de intersección entre el muro, vigas, losas y rampas de estacionamiento), se colocan planchas de tecnopor para evitar que ingrese el concreto, a la vez para que sea mucho más sencillo de picar el concreto sobrante.

Figura 9: Encofrado de muro C.C. la Molina.



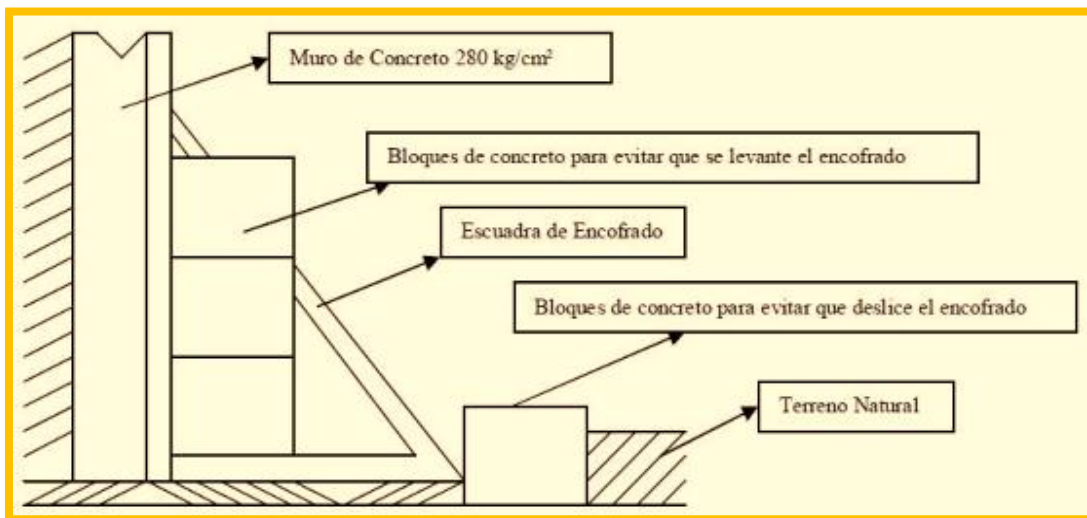
Fuente: Propia.

La fuerza que ejerce la mezcla de concreto es muy alta, tanto es así que el encofrado puede ceder al momento del vaciado y este problema se repetirá en los siguientes anillos mientras se va descendiendo en el proceso constructivo de los muros.

Para lo cual se solicita diseñar un sistema de apuntalamiento para resistir dicha presión ejercida por el concreto, para el armado de los paneles es necesario el uso de andamios, en donde el personal que se encargará de encofrar deberá usar un arnés de seguridad.

Por otro lado, los bloques de concreto o dados de concreto evitan los desplazamientos horizontales y verticales de los paneles de encofrado, estos dados son enterrados con el material propio el cual ara que disminuya los desplazamientos verticales, es recomendable realizar una cama con el material lo más alto posible ya que es mucho más seguro entorno a los desplazamientos horizontales y evitar que se formen los desplomes en los muros.

Figura 10: Esquema de encofrado de un muro anclado.



Fuente: Capeco.

## Vaciado de concreto en el muro pantalla.

El diseño que se usara en los muros será realizado contemplando que se necesitara realizar un tensado de los anclajes, debido a que estos producen un punzonamiento. El valor de la resistencia de tensado lo define el proyectista en función al tamaño de la placa y al de las cargas de tensado, el uso de aditivos acelerantes dependerá particularmente de cada obra, puesto que no es una práctica usual.

Figura 11: Vaciado de muro C.C. la Molina.



Fuente: Propia.

El valor de tensado para el proyecto de muros perimétricos Centro Comercial La Molina fue de  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  definido por el proyectista, equivalente a un aproximado de 70% de resistencia de diseño. El vaciado del concreto se puede realizar de cuatro maneras distintas dependiendo de la ubicación de los elementos a vaciar, lo cual se puede vaciar de la siguiente manera; con el mixer ingresando al proyecto y vertiendo el concreto con carretilla en el caso que nos encontremos en los primeros niveles de excavación, el uso de bombas pluma, cuando es mucho más profundo el elemento a vaciar, el uso de la torre grúa para los muros finales y también mediante la instalación de tuberías metálicas de 5 pulgadas de diámetro, unidas mediante abrazaderas cola de ratón las cuales se utilizan las bombas estacionarias conocidas también como bombas TK.

La altura media de la cual es vaciado el concreto es entre 3.5m - 4.0m, se requiere de un vibrado cuidadoso, este vibrado nos asegurara una buena densidad del concreto el cual llevara las burbujas de aire atrapadas en el fondo hacia el exterior eliminando de esta forma las burbujas y también las cangrejeras, además nos asegurara a reducir la segregación que podría aparecer en la base. Hay casos donde se puede usar aditivos en el concreto este ayudara a minimizar la necesidad de vibrado.

### **Desencofrado de muro pantalla.**

Después de 24 horas que el concreto haya fraguado, se procede con el desencofrado de la misma forma que el procedimiento de encofrado, el cual se presenta detalladamente a continuación:

- Desajustar los puntales de los paneles y retirar los puntales.
- Retirar las piezas que unen los paneles.
- Retirar la madera lateral (si es que hay), normalmente son retazos de fenólicos.
- Retirar el material que se usó de refuerzo en el encofrado (dados de concreto).
- Retira los dados de concreto con la ayuda de la excavadora.
- Retirar los paneles.

Luego de ser usados estos materiales se realiza la limpieza y se acopian, con la ayuda de la excavadora cuidadosamente se moviliza a otra zona por encofrar, lo mismo sucede con los dados de concreto.

Figura 12: Desencofrado usando una excavadora para movilizar los dados de concreto C.C. la Molina.



Fuente: Propia.

## Curado de muro pantalla.

Después del desencofrado de los muros, se procede con el curado; el curado sirve para minimizar los efectos de retracción plástica del concreto, esta retracción sucede horas después de haber realizado el vaciado del concreto, mientras aun la pasta de cemento es aun plástica y aún no ha iniciado el endurecimiento la evaporación del agua hace que se presenten grietas en el concreto, normal, el curado se ejecuta al día siguiente del vaciado, evitando así las fisuras en los muros, lo recomendable es usar un curador químico ya que su eficiencia es mucho mayor, este curador solo se aplica una sola vez a la cara del muro, a la vez cumple una función más rápidamente reemplazando el agua perdida en la retracción plástica.

Figura 13: Curado de muro C.C. la Molina

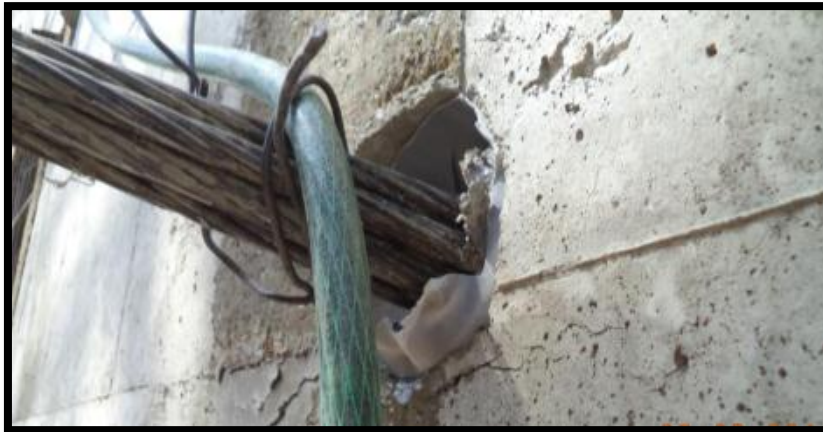


Fuente: Propia.

### **Picado y resane de muro.**

Luego de retirar el encofrado y realizar el curado se procede con el resane en la superficie del muro, tanto el hueco destinado a los anclajes y las rebajas dejados por los paneles fenólicos, se realiza el resane de los anclajes ya que este es un impedimento para que se transmita de manera adecuada la fuerza al momento del tensado de los anclajes de una manera correcta.

Figura 14: Resane necesario en la zona del anclaje.



Fuente: Propia.

### **Tensado de anclajes**

El muro al adquirir la resistencia especificada por el diseñador, se procederá con el tensado de los cables metálicos, previo al tensado se debe verificar si el tiempo es suficientemente para que la lechada en el bulbo haya alcanzado la resistencia adecuada para que pueda soportar la fuerza del anclaje.

Se realiza la limpieza de los cables que sobresalen por fuera del muro y también la superficie de apoyo, se retira la vaina que cubre a los cables del anclaje, junto con los restos de concreto o materiales existentes, se verifica el ángulo de apoyo de los cables. Se instala la placa metálica en el muro, previo a su instalación se debe verificar que la superficie de apoyo este completamente lisa.

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  $\pm 3^\circ$ .

Finalmente se tensan los cables utilizando una gata hidráulica y una bomba hidráulica y se coloca la cuña sobre la cabeza de acuñado, de tal forma que se mantenga la tensión en los cables especificada por el diseñador.

Figura 15: Tensado de anclajes



Fuente: Propia.

### **Variante en el proceso constructivo: Muro pasante.**

El muro pasante es una variante al proceso constructivo de los muros anclados donde la inyección, tensado y destensado del muro se ejecuta luego de la construcción del muro. Los procedimientos 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.

Después de vaciado el muro, se espera que el concreto alcance la resistencia requerida por el ingeniero estructural, después de comprobar la resistencia se procede a la perforación e inyección y por último se realiza el 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 el subcontratista de anclajes haya ejecutado los procedimientos de perforado e inyección.

Figura 16: Espacio dejado para una posterior inyección.



Fuente: Edifica.

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

La construcción de los muros anclados es esencial para la ejecución de proyectos que incluyen sótanos por esto se presenta cuan importantes son los plazos de ejecución, términos de presupuesto. La información es tomada como muestra del proyecto Construcción de Muros Perimétricos Centro Comercial La Molina.

## Relevancia del presupuesto dentro del proyecto.

En primer lugar, se analiza el impacto de tener muros anclados en el presupuesto del proyecto, para lo cual en la tabla se presenta el 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, este es considerado como primera etapa dentro del proyecto, el cual en el transcurso de la ejecución del muro perimetral se estará licitando la 2 etapa, que contempla la estructura de toda la edificación del centro comercial y demás especialidades. A continuación, se presenta un aproximado de los valores monetarios que entra en el alcance del proyecto.

Tabla 1 Presupuesto Contractual Muros Perimétricos  
Centro Comercial la Molina.

Item	Descripción	Parcial	Total
1.00	Obra provisionales	94,895.86	94,895.86
2.00	Movimiento de tierras	532,477.76	532,477.76
3.00	Cimentación- Muros Sotano	2,546,394.83	2,546,394.83
4.00	Adicionales...		774,600.04
4.01	Obras Preliminares	413,645.15	
4.02	Movimiento de tierras	29,143.28	
4.03	Estructuras	331,811.61	
4.03.01	Concreto Simple	35,124.74	
4.03.02	Muro Perimetral	120,146.20	
4.03.03	Zapatas	7,991.02	
4.03.04	Cimiento corrido	152,204.95	
4.03.05	Pedestales	16,344.70	
		<b>Sub-Total</b>	<b>3,948,368.49</b>
		<b>G.G. Fijos</b>	327,091.15
		<b>G.G. Variables</b>	376,860.00
		<b>Utilidad 6.00%</b>	236,902.11
		<b>Total sin IGV</b>	<b>4,889,221.75</b>
		<b>IGV 18%</b>	880,059.91
		<b>Total</b>	<b>5,769,281.66</b>

Fuente: Propia.

El costo total que representa el procedimiento constructivo de los muros anclados es de aproximadamente 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/ 1,200, 000. 00 (5 niveles de sótanos en el proyecto). De igual manera se puede notar que los muros anclados no representan un porcentaje tan significativo dentro del presupuesto, sin embargo, al ser un monto cercano a los seis millones de soles no deja de ser un valor importante y que es tomado muchas veces en cuenta al momento de buscar otras alternativas que disminuya este costo para el cliente.

Bajo esta premisa el presente trabajo busca minimizar los costos, horas hombre, materiales y equipos innecesarios en el proceso constructivo de los muros anclados, como suelen ser los resanes en los encuentros de losas de entrepisos, el escarificado necesario para el vaciado de las losas de techo, el resane en las caras de los muros dañados por incidencias de burbujas, juntas generadas por la intersección de los muros, cangrejas, segregaciones, desplomes de muros y demás no conformidades que se presentan en el proceso constructivo.

### **Relevancia dentro del plazo de ejecución**

Cabe resaltar que el proceso constructivo en la ejecución de los anillos se llegó a cumplir con lo indicado en el cronograma de obra, además indicar que los primeros anillos duro unos días más debido a que se estaba controlando los tiempos y las formas de trabajo, por lo que se tuvo las previsiones del caso para los anillos posteriores y en la cimentación corrida.

En primer lugar, al iniciar la excavación masiva se puede contar con una rampa dentro de la obra que servirá para facilitar el acceso de los volquetes hasta las zonas de excavaciones, normalmente se puede utilizar rampas hasta el 2, 3 anillo de excavación para evitar pendientes muy pronunciadas y que los volquetes cargados con material no puedan subir, pero debido a la inmensa área de trabajo que se contaba en el proyecto el cual tenía un área de 9,087.38 m<sup>2</sup> y además contaba con una geometría rectángulas esto quiere decir que poseía un lado más largo que el otro, la rampa pudo ser utilizada hasta el 6 anillo.

La forma alargada de un proyecto facilita el uso de la rampa ya que se puede trabajar mejor las pendientes, también se instaló una plataforma de 5mx2.5m que servirá para la acumulación del material y su posterior eliminación este con el fin de eliminar el material que pertenece a las dos rampas de vueltas de lazo y también el material a eliminar de la misma rampa principal, definitivamente el ratio de la eliminación comenzara a disminuir de esta manera hasta que se concluya con la construcción de los muros, en este proyecto no se contempló el uso de las fajas transportadores, ya que esto tenía otros precios mucho mayores el cual elevaba mucho más el presupuesto.

Cabe resaltar que la ratio de la eliminación con rampa es mucho más que la eliminación con faja transportadora, llegando a picos por encima de los 950 m<sup>3</sup> por día, mientras que con la faja transportadora el volumen oscila en 700m<sup>3</sup> por día.

Otro factor viene dado por las restricciones de horario, en el distrito de la Molina los horarios de trabajo fueron desde las 7:30am hasta las 5:00pm, restricciones con los accesos para vaciar el concreto, el fastidio por parte de los vecinos, bajo estas limitaciones se planteó concluir con la construcción de los anillos ejecutando entre 5 a 6 paños al día por frente de trabajo.

El tiempo destinado para el proceso de excavación y sostenimiento de los taludes ha sido bastante influyente en el cronograma de obra, 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, cabe notar que solo para la excavación de los 5 sótanos se tomó 180 días, una vez terminada la excavación, los siguientes procesos son cíclicos y rápidos de ejecutar.

## **IV. RESULTADOS**

### **4.1 Observaciones encontradas en el acabado de la construcción de los muros**

#### **4.1.1 Desplomes**

##### **Definición.**

Acción o efecto de perder la verticalidad, los desplomes son pandeos en la superficie de los muros generados por la misma fuerza de empuje que ocasiona la mezcla del concreto hacia los paneles del encofrado antes que se dé inicio el fraguado. Los desplomes son bastantes reiterativos en proyectos que presentan varios sótanos ya que en los anillos inferiores la altura de los muros aumenta y también su espesor ocasionando una mayor fuerza de empuje hacia la cara de los muros, De la misma manera los paneles son utilizados repetitivamente para la ejecución de los muros, por ende que en los niveles inferiores estos paneles presentan deformaciones imperceptibles al ojo humano, pero a la vez muy notorios cuando se realiza el levantamiento topográfico de la planeidad de los muros con estación total.

Podemos decir que los desplomes no solo son originados por el pandeo desde la cara expuesta del concreto hacia el exterior, si no también se pueden generar hacia la cara interior de los muros. Sino que también durante el vaciado de los muros la mezcla genera fuerzas horizontales por su propio empuje, lo cual se le deja una contra flecha de algunos milímetros al momento de colocar el encofrado. En ocasiones la fuerza de empuje no es suficientemente grande para superar esta contra flecha, generando un desplome hacia el interior de los muros. También el desplome hacia el interior puede ser generado por la falta de separadores o tacos de concreto en las zonas superiores del encofrado.

En los procedimientos constructivos de edificaciones con sótanos casi siempre tendrán desplomes al momento de hacer la entrega a la supervisión, ya que la junta generada por el vaciado de dos muros en diferentes niveles que a la mitad del nivel de altura de entrepiso de la mayoría de los sótanos. Los muros al ser vaciados en diferentes tiempos tienden a presentar desplomes relativos del nivel inferior en comparación al superior por el mismo proceso constructivo.

Los desplomes no solo influyen en la calidad del acabado de los muros, sino que también si estos exceden significativamente los rangos de tolerancias de acuerdo al tipo de elemento estructural, pueden llegar hasta incluso a generar daños en la estructura del 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 podrá llegar a ser óptimo y si le agregamos a este un curado inadecuado en los primeros días de fraguado del concreto endurecido este generara como resultado una falla de adherencia ocasionando 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 podrá trabajar efectivamente con el acero y por lo tanto podría llegar a producirse una falla por carga de servicio.

### **Tolerancia.**

Los desplomes se encuentran en la categoría de observaciones controladas post-vaciado, las tolerancias dependerán mucho del tipo de edificación en la cual se utiliza el muro, tanto como el acabado final de estos.

Para edificaciones se considera los muros de concreto de la siguiente manera:

- G1: Muros arquitectónicos, acabado cara vista.
- G2: Muros de concreto que serán empastados, pintados, maquillados, solaqueados.
- G3: Muros de concreto que quedaran expuestos a la vista, pero que su apariencia no es tan importante como la G1.
- G4: Muros pertenecientes a obras gruesas.

Para nuestro proyecto corresponde a la categoría G2, la altura de estos muros varía entre los 3.00m - 6.00m lo cual genera que los recubrimientos de los muros tengan una tolerancia de +/- 12mm en su acabado y para alturas menores o iguales a 1.50m una tolerancia de +/- 7mm.

### **Método de reparación.**

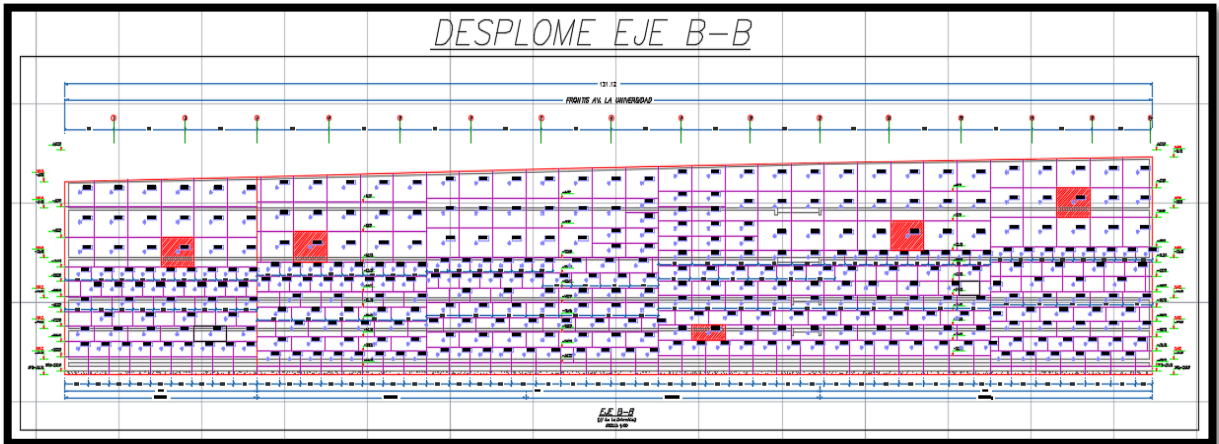
El método de reparación de estas observaciones dependerá mucho del tipo de desplome que presente el muro. En caso de ser un desplome hacia la cara exterior del muro se ejecutará un picado puntual en la zona afectada, si el desplome es bastante pronunciado; de no ser tan pronunciado con el tarrajeo o el solaqueado de muro se dará la planeidad final deseada. El otro caso sería si el desplome es hacia la cara interior del muro se tarrajea la zona afectada para llegar al recubrimiento deseado.

### **Salidas.**

En nuestro proyecto se generó un control de desplomes por paño vaciado, en el cual se tomaron mediciones de 5 a 12 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 el milímetro que se tenía de diferencia entre la superficie del muro y el nivel topográfico indicado en el plano, este trabajo se realizó en los dos primeros anillos, posteriormente se realizó la verificación con una regla de aluminio y un nivel de mano pegado a la regla.

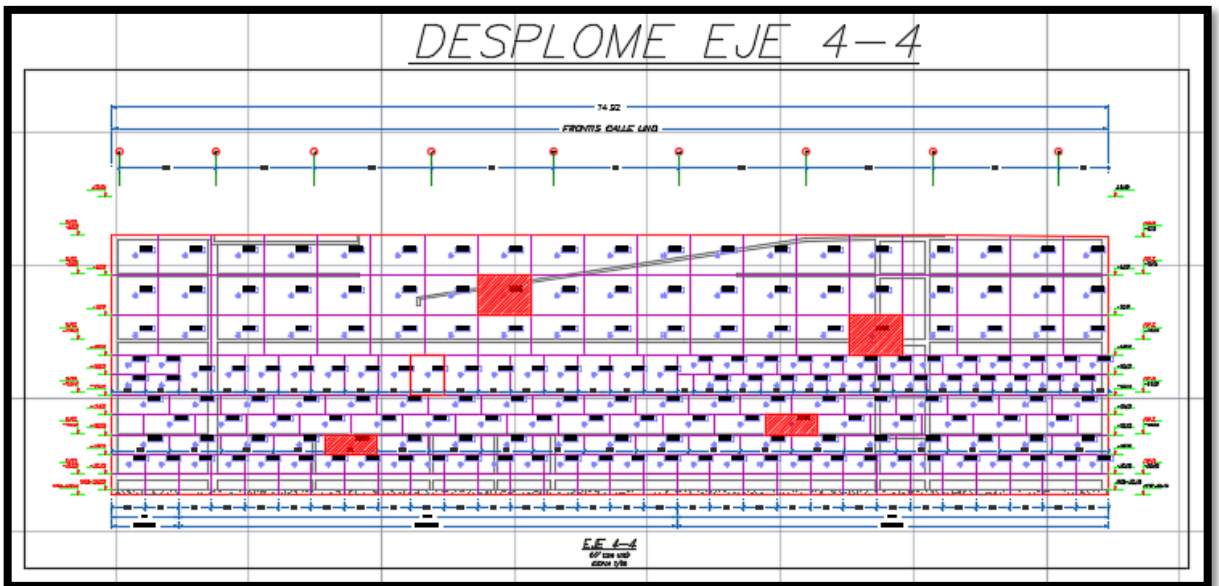
En las siguientes figuras se muestra el control de desplomes por ejes del proyecto.

Figura 17: Control de desplomes – EJE B-B



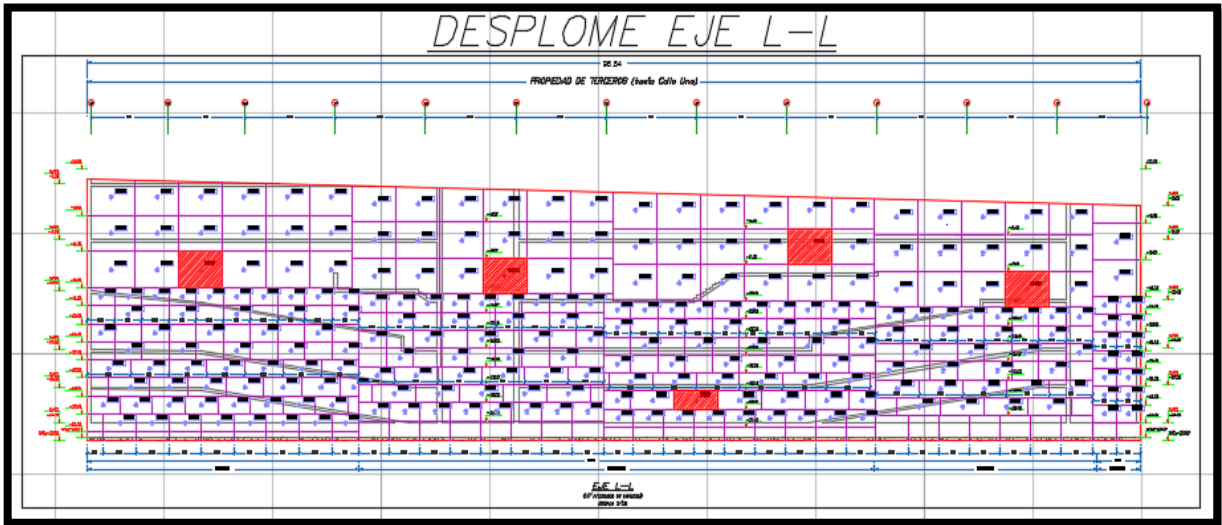
Fuente: Propia.

Figura 18: Control de desplomes – EJE 4-4



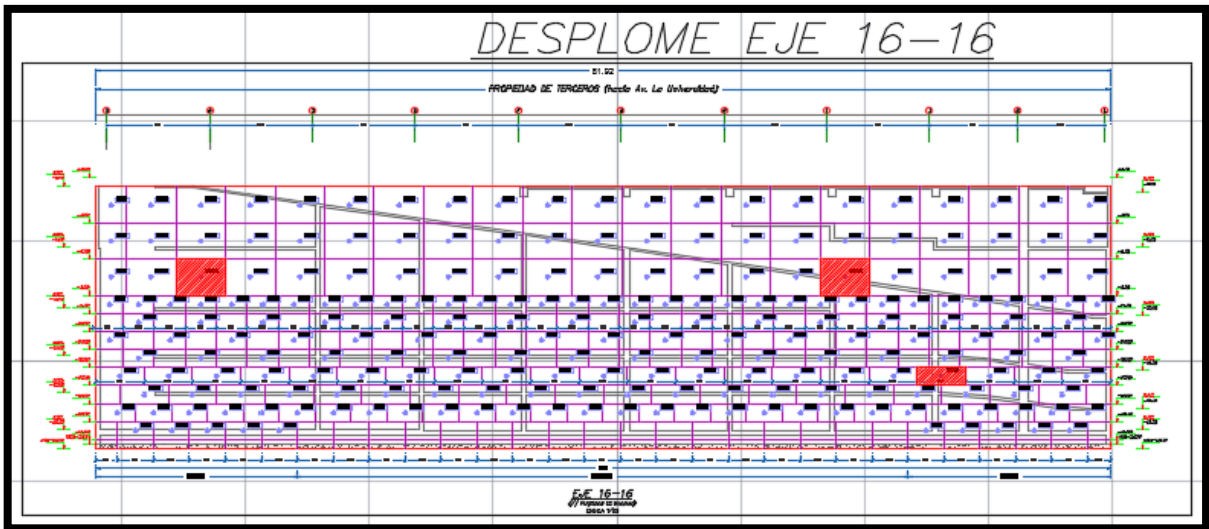
Fuente: Propia.

Figura 19: Control de desplomes – EJE L-L



Fuente: Propia.

Figura 20: Control de desplomes – EJE 16-16



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 los puntos con respecto a la cara del muro en milímetros, la cantidad de puntos en rango y el promedio de estos respecto al total.

Figura 21: Control de desplomes EJE B - B

Tabla de control	Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3	Anillo 4	Anillo 5	Anillo 6	Anillo 7	Anillo 8	Anillo 9	Anillo 10	Anillo 11	Anillo 12	Anillo 13
Muestra	75	85	85	85	80	80	85	90	92	95	95	98	95
Promedio (mm)	12.0	14.2	13.2	8.6	7.4	8.1	5.6	3.8	4.6	4.2	6.3	5.4	3.7
En Rango	72	67	64	80	76	78	84	87	90	93	94	96	92
Fuera de Rango	3	18	21	5	4	2	1	3	2	2	1	2	3
Promedio en Rango	96.0%	78.8%	75.3%	94.1%	95.0%	97.5%	98.8%	96.7%	97.8%	97.9%	98.9%	98.0%	96.8%

Fuente: Propia.

Figura 22: Control de desplomes EJE 4 – 4

Tabla de control	Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3	Anillo 4	Anillo 5	Anillo 6	Anillo 7	Anillo 8	Anillo 9	Anillo 10
Muestra	76	65	75	80	75	75	73	76	80	76
Promedio (mm)	7.5	12.8	12.5	9.2	7.3	5.1	6.4	6.4	6.5	4.1
En Rango	73	56	73	72	68	72	71	74	78	75
Fuera de Rango	3	9	2	8	7	3	2	2	2	1
Promedio en Rango	96.1%	86.2%	97.3%	90.0%	90.7%	96.0%	97.3%	97.4%	97.5%	98.7%

Fuente: Propia.

Figura 23: Control de desplomes EJE L – L

Tabla de control	Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3	Anillo 4	Anillo 5	Anillo 6	Anillo 7	Anillo 8	Anillo 9	Anillo 10
Muestra	65	68	70	72	75	72	76	75	80	80
Promedio (mm)	9.3	14.3	12.6	8.3	7.2	5.6	4.2	5.1	4	3.2
En Rango	63	56	63	68	72	69	72	70	75	74
Fuera de Rango	2	12	7	4	3	3	4	5	5	6
Promedio en Rango	96.9%	82.4%	90.0%	94.4%	96.0%	95.8%	94.7%	93.3%	93.8%	92.5%

Fuente: Propia.

Figura 24: Control de desplomes EJE 16 – 16

Tabla de control	Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3	Anillo 4	Anillo 5	Anillo 6	Anillo 7	Anillo 8	Anillo 9	Anillo 10	Anillo 11	Anillo 12	Anillo 13	Anillo 14
Muestra	81	83	80	82	85	83	80	80	83	85	82	81	83	80
Promedio (mm)	10.5	13.4	14.5	9.6	8.4	4.6	3.2	1.5	4.6	5.5	2.8	4.9	6.4	7.5
En Rango	77	74	71	78	80	81	77	79	82	84	79	78	80	77
Fuera de Rango	4	9	9	4	5	2	3	1	1	1	3	3	3	3
Promedio en Rango	95.1%	89.2%	88.8%	95.1%	94.1%	97.6%	96.3%	98.8%	98.8%	98.8%	96.3%	96.3%	96.4%	96.3%

Fuente: Propia.

Con las figuras y tablas vistas anteriormente podemos darnos cuenta que los primeros anillos fueron los más afectados por los desplomes, en el eje B se presentaron 5 paños con un rango mayor de 12mm, en el eje 4 se presentaron 4 paños con un rango mayor de 12mm, en el eje L se presentaron 5 paños con un rango mayor de 12mm, en el eje 16 se presentaron 3 paños con un rango mayor de 12mm. La situación mejora a partir del anillo 3 el promedio de desplome de los puntos está por debajo de los 12mm.

El refuerzo que se coloca en el encofrado ha influido también para poder disminuir los desplomes. En los anillos inferiores se pudo generar un esfuerzo adicional a los bloques de concreto que se colocan para soporte de las fuerzas de empuje mediante el uso de una cama con material propio del terreno que se situaba hasta el nivel de altura del muro. De esta manera las fuerzas horizontales generadas por la mezcla de concreto aún no fraguada no vencían las superficies de encofrado.

Figura 25: Refuerzos de dados de concreto en el encofrado.



Fuente propia.

#### **4.1.2 Cangrejas**

##### **Definición**

Son espacios vacíos que resaltan en el acabado de los muros anclados o en cualquier otro elemento estructural. Lleva el nombre de cangrejera cuando la armadura de refuerzo queda expuesta al aire libre dejando a esta 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.

Figura 26: Cangrejera en muro



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 los 3m o por la fuga de la pasta de cemento al terreno por las zonas inferiores del encofrado.

En el proyecto se han presentado muchos de estos problemas en casi todos los anillos, para los primeros anillos se estaba usando un concreto con Slump 4" - 6", para los anillos 4, 5, consideró el mismo Slump, no se tuvo en cuenta el factor de que el concreto necesitaba recorrer una tubería de más 100m de longitud para 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 la temporada de verano, generando problemas en los vaciados con atoros en las tuberías y su posterior resultado en el acabado de los muros. El 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 las zonas de refuerzos 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.

En ese momento se suscitó el problema del concreto premezclado que, no llegada a la obra, con lo cual se generó un tiempo entre vaciados significativo, el concreto ya vaciado continuo con su proceso de fraguado, entorpeciendo el vibrado de la mezcla a vaciarse en la zona de los anclajes, lo cual derivo en la siguiente imagen, la cual posee una cangrejera significativa.

Figura 27: Cangrejera en la zona de refuerzo de anclaje



Fuente: Propia.

Por otro lado, la altura también fue tomada en consideración para el cuidado durante el vaciado de los muros (anillos 1, 2) debido a que estos paños presentan una altura de 3.00m a la cual se le debe considerar unos 50cm para poder instalar el chute y la plataforma de vaciado, llegando a una altura de aproximada de 3.5m. El problema con la altura es que el concreto se disgrega más fácilmente generando las cangrejas. También la pasta de la mezcla se puede escapar por las zonas inferiores del encofrado debido al gran peso que debe soportar por las alturas, dejando agregados gruesos expuestos y cangrejas en las zonas inferiores.

Para los anillos inferiores se tomaron medidas de control para evitar las cangrejas, tales como aumentar el Slump en el pedido del concreto, el cual se aumentó a un concreto con diseño de un Slump de 6"- 8" para que la mezcla recorra todo el camino de la tubería sin que la pérdida de trabajabilidad sea significativa. Además, se adquirió una aguja de vibrado de menor tensión con el fin que pueda ingresar en las zonas de mayor cuantía de acero, buscando que el concreto llene todos los vacíos para que se eviten las cangrejas.

El elemento estructural en este caso los muros anclados, se ven afectados por la formación de vacíos que significa presencias de cangrejas, 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 el acero que corroa.

## **Tolerancia.**

Todas las cangrejas deben resanarse ya que atenta contra la estructura dejar los 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.

Se verá necesario en algunos casos demoler totalmente el elemento estructural, esto ocurre cuando el área afectada representa 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.

## **Método de reparación.**

El proceso de reparación de las cangrejas dependerá mucho 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, será necesario utilizar un puente de adherencia, también existen casos en los cuales se necesitara hacer una demolición total o parcial del elemento para volverlo a rellenar con concreto, por ejemplo en la siguiente figura se realizó la demolición parcial que ocurrió en uno de los paños del proyecto.

Figura 28: Demolición de muro



Fuente: Propia.

Para este caso se llegó a descubrir hasta la primera malla del muro, para luego ser vaciado nuevamente hasta llenar el vacío dejado por la demolición, para poder ejecutar este procedimiento se escarifica los bordes del concreto ya fraguado.

Figura 29: Reparación de muro



Fuente: Propia.

## **Salidas.**

En el proyecto se tuvieron cuatro cangrejas representativas, las cuales necesitaron ser resanadas para poder convertirse en muros entregables a la supervisión. Por otro lado para evitar el aumento de las ocurrencias de estas cangrejas, 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 de la mezcla durante su recorrido por la tubería, además se compró una manguera vibradora más largo (4.00m) para realizar un mejor vibrado en las etapas iniciales del vaciado, etapas en las cuales el concreto tiene una caída igual a los 3 metros de altura.

### **4.1.3 Fisuras**

#### **Definición.**

Las fisuras son pequeñas líneas de abertura que se presentan en las caras del concreto ya endurecido, se suelen 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 la 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 de 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 la 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 un 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 las fisuras más peligrosas ya que los asentamientos diferenciales generan esfuerzos extras para los cuales la estructura no ha sido diseñada, las fisuras en estos casos sirven de alerta indicando 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 vaciado del concreto. Esto genera que se desarrollen los problemas por recubrimiento ya mencionados.

## **Tolerancia.**

Las fisuras que necesitaran reparación son aquellas que atenten contra la resistencia o la durabilidad de la estructura. Estas fisuras son aquellas cuya profundidad sobrepasa la posición del acero, 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 importa en el acabado. Estas fisuras pueden generar la sensación de inseguridad en los usuarios del inmueble, por eso necesitan un resane.

## **Método de reparación**

Para poder elegir el método 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 solo un procedimiento superficial para resanarlas, no obstante, si la fisura se debería a un asentamiento diferencial en la estructura, primero se deberá 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 sensaciones de inseguridad por parte de las personas que transiten por el lugar, en caso de tratarse de una fisura profunda que llega hasta la armadura del elemento, se necesitara aplicar una inyección de epóxido.

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

Lo primero que se tiene que realizar es la limpieza de 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 epóxido se pueda filtrar hacia el exterior de la estructura antes de que este haya pasado a un estado gelificado. Luego se instalarán los puertos de ventilación y la entrada del epóxido para finalmente inyectarlo y dejar que se convierta en gel.

## **Salidas**

En el proyecto no se han presentado muchos muros con problemas 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 tenía la maquinaria para poder acceder a esos puntos. Normalmente la demora del desencofrado era superior al día, por lo que los muros ya presentaban fisuras al momento de su desencofrado.

Figura 30: Presencia de fisura en muros del proyecto.



Fuente: Propia.

#### **4.1.4 Segregaciones**

##### **Definición.**

Las segregaciones son exposiciones del agregado grueso y vacíos irregulares en la superficie del concreto. En una mezcla de concreto existen dos familias: la familia de los agregados, la cual incluye a la arena y a la grava y la familia de la pasta, la que incluye al agua y al cemento. La pasta funciona como lubricante entre los agregados, los rodea e impide que se choquen unos a otros.

Por lo tanto, la segregación ocurre cuando la pasta no llega a cubrir una zona de los agregados y estos quedan visibles lo cual se observan piedras chocando con piedras, además se ve la presencia de vacíos en sus alrededores.

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

Tabla 2: Clasificación de segregaciones

<b>SEGREGACION</b>	
<b>% Respecto al area total</b>	<b>Calificacion</b>
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)

Fuente: Propia.

Las segregaciones aparecen 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.

Figura 31: Segregación en muros.



Fuente: Propia.

### **Tolerancia.**

Si la profundidad de la segregación no excede al tamaño máximo del agregado de la mezcla, esta no compromete estructuralmente al elemento estructural, por lo tanto, el procedimiento de reparación sería más sencillo.

### **Método 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 presenta una profundidad mayor al tamaño máximo del agregado, se necesitará inyectarle epóxido a las zonas afectadas para que el gel cumpla la función de la pasta generando así una estructura monolítica en todas sus partes y protegiendo al 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 que transiten por esta zona.

## **Salidas**

En el proyecto se trabajó con un agregado cuyo tamaño máximo fue igual a  $\frac{3}{4}$ " lo cual estamos hablando de aproximadamente 2cm. En su mayoría las segregaciones presentadas en el proyecto no fueron tan considerables, por lo que las reparaciones que se tuvieron que hacer han sido mínimas.

Así mismo se notó que todas las segregaciones que se presentaron en el proyecto han sido en la base de los muros, sobre todo en los anillos iniciales, los cuales han sido diseñados con una altura mayor a diferencia de los anillos inferiores. La altura de los muros influye 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.

#### **4.1.5 Juntas frías**

##### **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 a 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/o segregaciones, los cuales dañan al elemento estructural. Las juntas frías son distintas a las juntas de construcción, ya que las juntas de la construcción están diseñadas para que se coloquen en campo, mientras que las juntas frías son observaciones que se tienen que levantar.

Una de las causas de la aparición de las 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 concretos llevan acelerantes de fraguado), humedad o condiciones ambientales durante la realización de la mezcla, como podría ser también las altas temperatura que acelera la exudación del concreto o el transporte del concreto desde la planta de premezclados hasta la obra y desde la bomba del concreto hasta el punto de vaciado en campo o hasta el mismo procedimiento de vaciado y vibrado.

## **Tolerancia.**

Las juntas frías deben resanarse, ya que son considerados como NC (No Conformidades) por parte de la supervisión y el área de calidad del proyecto. Las juntas frías representan un daño estructural en el elemento, puesto que este ha sido diseñado monolíticamente lo cual ha sido dividido en dos o más partes; adicionalmente las fisuras, segregaciones y cangrejas 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.

## **Método de reparación.**

Para reparar una junta fría dependerá mucho del tamaño y la importancia de la misma, en caso de ser una junta fría pequeña, de poca profundidad y poco espesor, se podría resanar con el uso de una espátula 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 del elemento estructural, se reparara mediante la inyección de un epóxido para generar una estructura monolítica.

## **Salidas.**

En el proyecto se tuvo solo una junta fría significativa en un muro del eje 1 lo cual ocurrió por el tiempo excesivo de espera que se dio entre el vaciado de dos mixer de concreto. Entre las principales causas se encuentra la demora por parte del subcontratista del concreto premezclado, el cual generó una demora por encima de las tres horas para que llegue de la planta de premezclado hasta la obra, el concreto usado en este proyecto para el vaciado de los muros anclados fue solicitado con un acelerante de fragua a 3 días, lo cual influyó para que el concreto a vaciarse luego de tres horas no genere una estructura monolítica con el concreto ya vaciado.

Otro factor que influyó en la aparición de las juntas frías es la longitud de la tubería metálica, el cual superó longitudes de 100m en el proyecto, desde el patio de maniobras (eje B) que es donde se encontraba posicionada la bomba estacionaria o bomba TK, hasta los ejes más alejados (ejes 4, 16, L).

Al poseer una distancia más larga, el Slump del concreto con el cual llega al punto de vaciado disminuye considerablemente, lo cual ocasiona que el concreto se endurezca mucho más rápido. Al día siguiente de haber sido vaciado el muro se ejecuta el desencofrado del elemento, el cual mostró una junta fría con el área y profundidad considerable.

Figura 32: Junta fría en un muro.



Fuente: Propia.

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

#### 4.1.6 Burbujas

##### **Definición.**

Son conocidos como hoyos de aire atrapados en la superficie del concreto, son formas expuestas y endurecidas en la cara del encofrado, aquí tenemos dos causas de su aparición, el primero es por la cantidad de tiempo de vibrado de la mezcla y el segundo es por 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 tienen 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.

Figura 33: Muro con presencia de 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 gran mayoría las que tiene superficies inclinadas, en dichos elementos se dificulta la acción de vibrado lo que promueve la aparición de las burbujas. De la misma manera cuando el concreto es de un fraguado rápido las burbujas tienen menos tiempo para poder escapar hacia la superficie de la estructura. También podemos decir que mientras mayor sea el recubrimiento, más difícil será que las burbujas escapen a la cara del encofrado.

### **Tolerancias.**

Un hoyo en la superficie del muro es considerado burbujas cuando estos poseen un diámetro mayor a 15mm o a una profundidad mayor a 10mm.

En tal sentido un muro es considerado con burbujas cuando el 3% del área total presenta los hoyos o el 30% del área visible muestra una notoria afección por las burbujas. Si superan estos parámetros, son considerados como No Conformidades.

En los primeros casos se requerirá realizar un resane puntual a los hoyos que hayan excedido la tolerancia, por lo tanto, para esta actividad no se requerirá un mayor uso de horas hombre y de materiales. En caso sea una observación por parte de la supervisión que afecte todo el muro, se necesitara realizar el resane a toda la superficie del muro.

### **Método de reparación.**

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 hayan excedido el 3% del área total afectada o el 30% del área visible se necesita realizar un resane general a la superficie del muro.

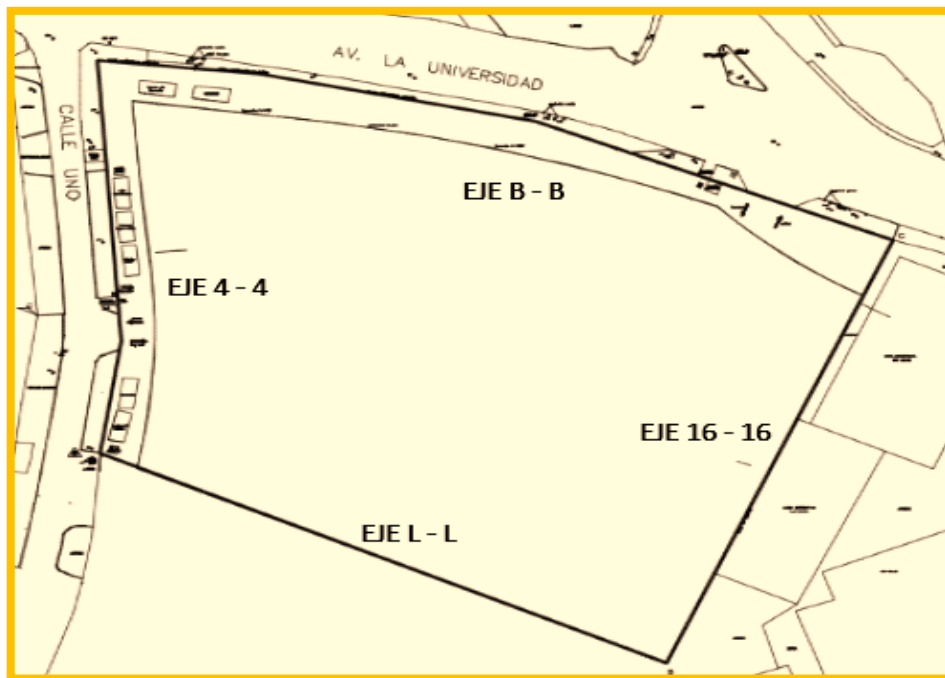
Como acción preventiva ante la aparición de las burbujas, se puede controlar la velocidad del vaciado del concreto para evitar que algunas zonas queden sin el vibrado necesario. También se debe controlar la limpieza de los paneles del encofrado, ya que estos poseen una enorme influencia en la aparición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

## Salidas.

En el proyecto se realizó un análisis en campo para cuantificar la cantidad de muros que presentaban observaciones por la aparición de burbujas en su superficie. Para esto se presentará la distribución de los paños en los 4 ejes del proyecto.

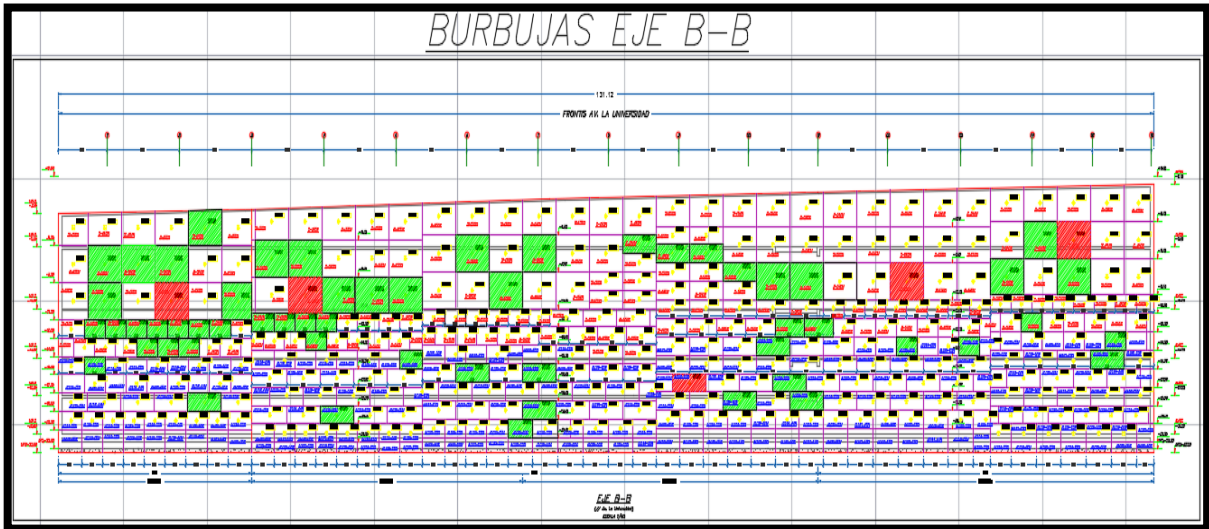
A continuación, se presentan los planos de detalle en el cual nos indican los paños, donde se usaron dos tipos de desmoldantes.

Figura 34: Ejes del Proyecto.



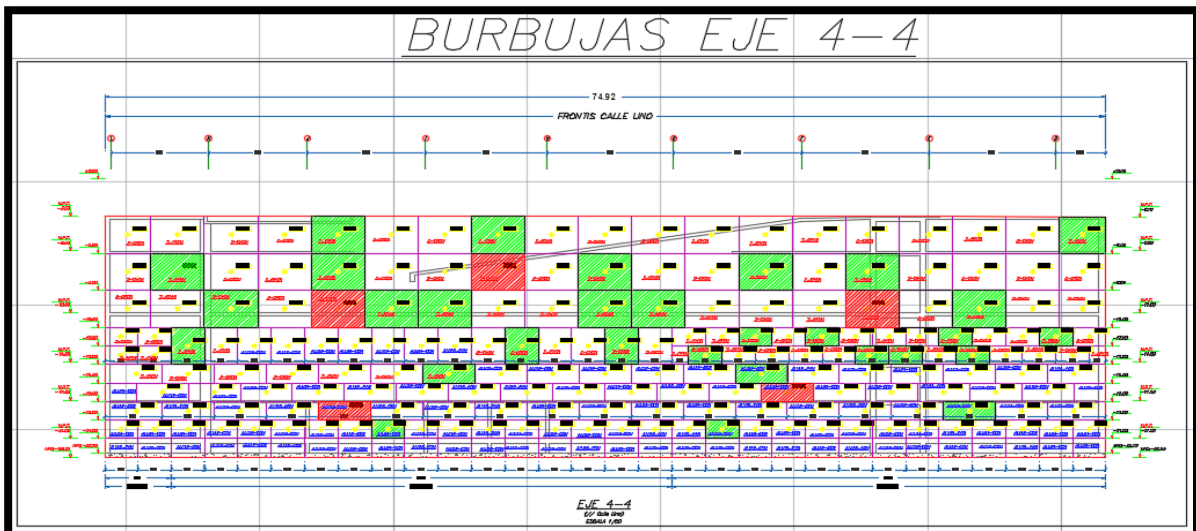
Fuente: Propia.

Figura 35: Eje B - B del Proyecto.



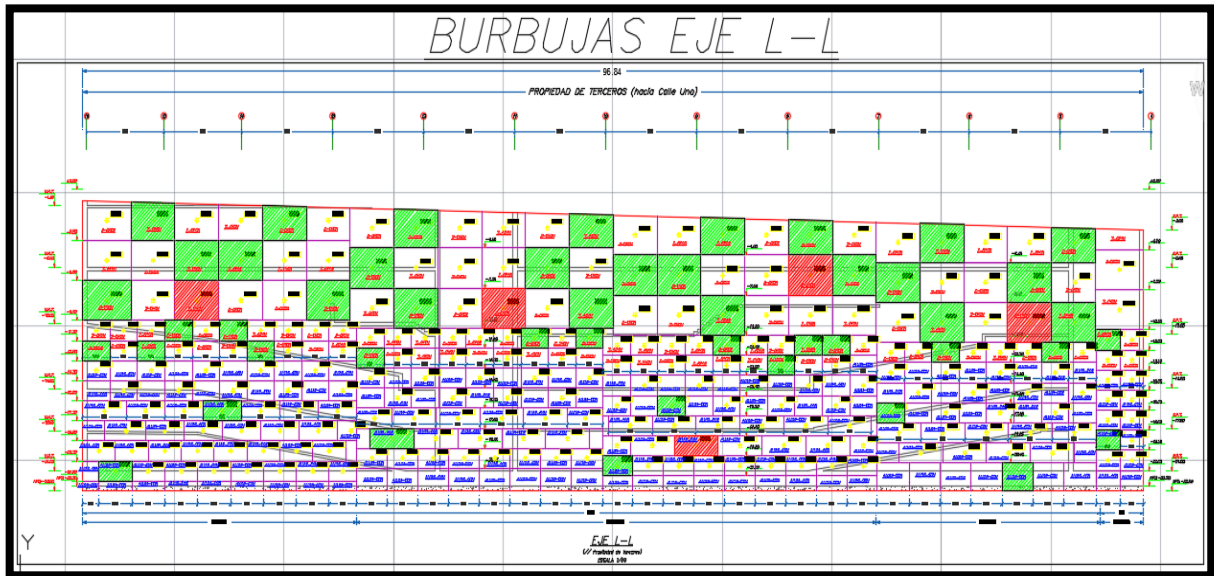
Fuente: Propia.

Figura 36: Eje 4 -4 del Proyecto.



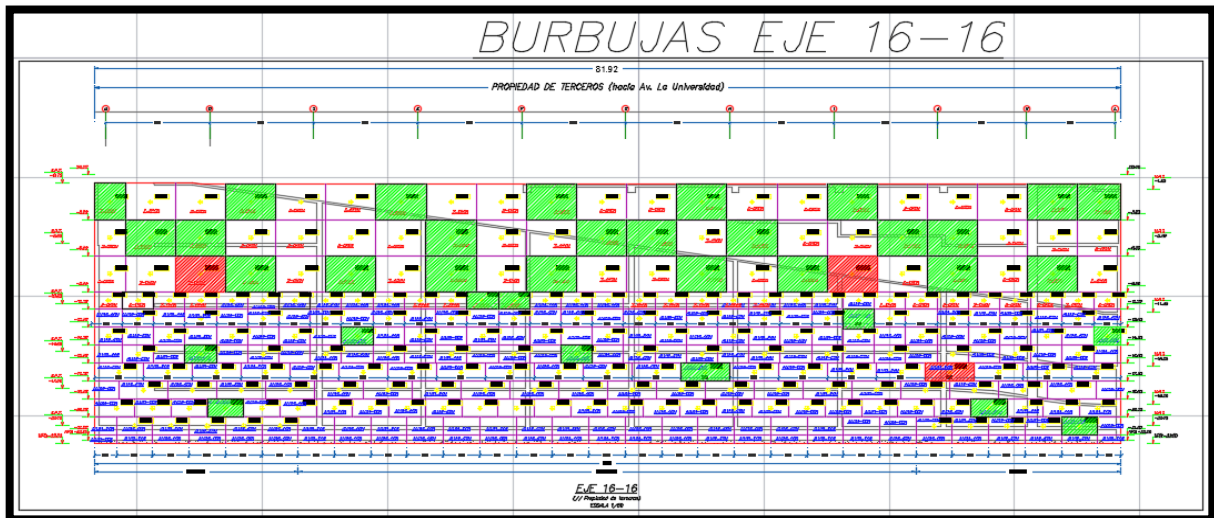
Fuente: Propia.

Figura 37: Eje L – L del Proyecto.



Fuente: Propia.

Figura 38: Eje 16 - 16 del Proyecto.



Fuente: Propia.

En estas imágenes podemos encontrar a los muros que presentar observaciones por burbujas las cuales han sido resaltadas con el color 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 la letra roja a los muros que utilizaron paneles limpiados con Z-CRON y letra azul a los muros que utilizaron paneles limpiados con ALUMI-CON.

El resultado muestra que el 12.56 % de los paños presenta observaciones por burbujas, el eje que más observaciones ha presentado ha sido el eje B – B con 57 paños afectados por burbujas y el eje que menos observaciones tuvo fue el eje 4 – 4 con 32 paños afectados.

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 las reparaciones de estos muros con el uso de una combinación de cemento y agregado fino, para generar 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, así como también el uso del Slump con que se trabajó en obra.

Tabla 3: Resumen de tolerancias

DESVIACIONES	TOLERANCIAS
Cangrejeras	Se considera cangrejera cuando el 10% del area total evaluada presenta daños y vacios poseen una profundidad de 1/5 del total de su espesor del muro o la longitud de recubrimiento. Todas las cangrejeras ameritan una reparacion en la estructura.
Burbujas	Se considera un muro con burbujas cuando el 3% de su area total presenta agujeros con una profundidad mayor a los 10mm o un diametro mayor a 15mm, adicionalmente tambien se considera con burbujas si el 30% del area visible presenta una notoria afectacion. Casi todos los muros que presenten esta desviacion ameritan un resane superficial.
Desplomes	Para los muros anclados con una altura de 3 - 6m se considera una tolerancia de +/- 12mm en su acabado.
Fisuras	Se considera fisura cuando el hueco presente en la estructura posee una profundidad que sobrepase la posicion del acero de refuerzo.
Juntas Frias	Se considera junta fria a las caras discontinuas o irregulares que se generan durante el vaciado del concreto al no generarse una estructura monolitica. Totas las juntas frian ameritan un resane estructural.
Segregaciones	Se considera segregacion a las exposiciones del agregado grueso y a los vacios irregulares en la superficie del concreto. En caso la profundidad de la segregacion sea mayor al diametro maximo del adegado de la mezcla.

Fuente: Capeco.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 Elementos que afectan la calidad del acabado de los muros.

#### **Falta de limpieza en los paneles del encofrado.**

La limpieza de los paneles de encofrado se realiza con el uso de desmoldantes, estos son un tipo de aditivos químicos cuya función es remover los restos de la mezcla del concreto de las superficies de los paneles usados. 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 la empresa NOX-CRETE, se detalla en la siguiente tabla el resumen de incidencias de burbujas en los paños, en el cual se especifica a los paños trabajados con Z-CRON de color rojo y los paños trabajados con ALUMI-CON de color azul.

Tabla 4: Resumen del uso de los desmoldantes.

DESMOLDANTE ANALIZADOS	OBSERVADOS	PORCENTAJE	
Z - CRON	533	132	24.8%
ALUMI - CON	812	37	4.6%
Total	1345	169	12.6%

Fuente: Propia.

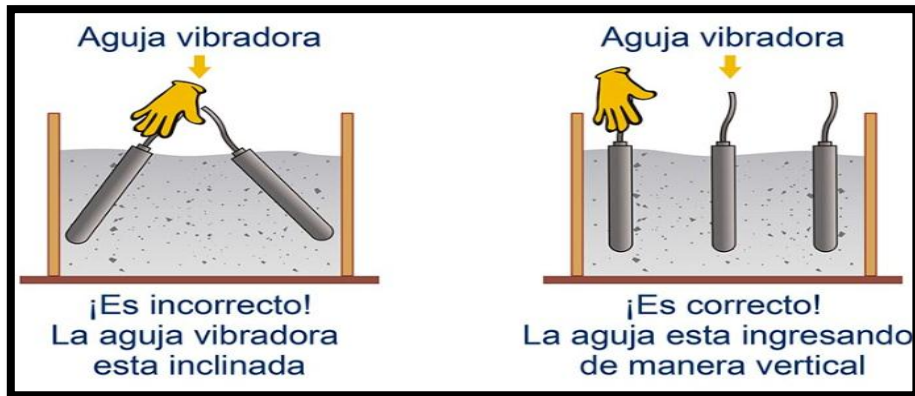
En el proyecto se inició con el desmoldante Z-CRON, pero debido a la gran incidencia en la aparición de burbujas se decidió probar con un nuevo proveedor de desmoldantes, para lo cual nos tuvimos que contactar con la empresa NOX CRETE, lo cual realizaron una presentación de sus productos en campo y el resultado fue lo que indica la tabla anterior. De la misma manera queda demostrada la importancia del desmoldante en la aparición de burbujas. Los porcentajes hallados en campo avalan la relación entre su correcta aplicación y la incidencia de observaciones por burbujas.

### **Mal vibrado.**

El vibrado es un proceso mediante el cual se compacta el concreto recién vaciado usando una aguja vibradora. Su principal función es eliminar el aire atrapado dentro del concreto. Además, 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 tal como se indica a continuación.

Figura 39: Correcta manera de realizar el vibrado.



Fuente: Unicon.

Tabla 5: Relación entre el Slump VS tiempo de vibrado

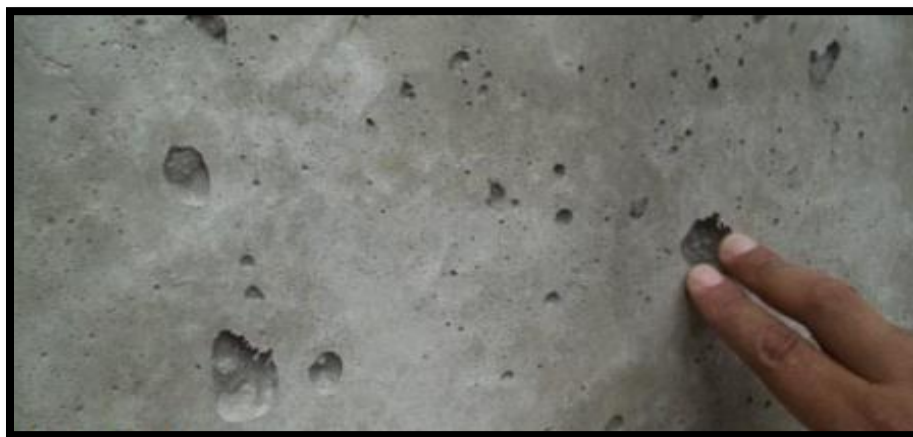
Slump (Pulg.)	Tiempo aprox. de vibrado (seg)
2 - 4	14 - 20
4 - 6	8 - 14
6 - 8	4 - 9
8 a más	Máx. 7

Fuente: Capeco.

Se debe tener en consideración la trabajabilidad del concreto fresco al momento de realizar el vibrado. Un concreto más espeso cuyo Slump varía entre 1”- 5” va a necesitar una mayor energía de compactación, esto se debe a que las burbujas atrapadas en la mezcla necesitaran 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 que la piedra choque con otra piedra y formando de esta manera segregaciones.

Como fue mencionado anteriormente, la función principal del vibrado es hacer que estas burbujas atrapadas en la mezcla escapen a la superficie, cuando el tiempo de vibrado no es suficiente, las burbujas de aire se quedan pegadas en el encofrado sin lograr completar su trayectoria vertical. Al quedarse las burbujas de aire atrapadas en la cara del encofrado, el concreto se endurecerá alrededor de ellas generando, en su primera instancia burbujas y si el aire atrapado ocupa un mayor volumen entonces este se considerará como una cangrejera.

Figura 40: Burbujas.



Fuente: Propia.

Figura 41: Cangrejas.



Fuente: Propia.

### **Capacitación de la mano de obra.**

No es suficiente con el conocimiento técnico del ingeniero de campo para la correcta ejecución del proceso constructivo de los muros anclados, lo que se necesita es capacitar al personal obrero, puesto que ellos son los ejecutores finales de la obra. Todo el aprendizaje obtenido en el proyecto gracias a la ejecución de 1, 345 muros fue transmitido 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 que realizar capacitaciones por parte de los proveedores de los desmoldantes, encofrados, 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 anclados.

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

### **Dosificación de la mezcla.**

Los componentes dentro de la mezcla de concreto también influirán en el acabado de los muros anclados, la relación agua y cemento (a/c) juntos con el uso de aditivos definirán el Slump a usarse en la mezcla. Ya sea un Slump alto o bajo, cada uno implicara distintas consecuencias tanto en el proceso constructivo, como en el acabado final de estos.

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

## **Efectos en el acelerante de fraguado.**

La mezcla de concreto con acelerantes de fragua son usados con mayor frecuencia 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, los acelerantes son usados mayormente 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 el encofrado horizontal en menor tiempo y de esta manera reducir el costo de esta partida.

Por el diseño estructural se deben perfilar las banquetas de manera intercalada, en el caso de nuestro proyecto se realizó dejando dos paños, para poder perfilar las banquetas intermedias 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 usaran los acelerantes de fraguado en la construcción de los 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 las zonas inferiores, adicionalmente al fraguar a mayor velocidad que una mezcla tradicional se debe tener cierto cuidado en su curado. En caso se deje el muro encofrado más de un día puede aparecer fisuras en su superficie por la falta de curado.

En el proyecto se usó mezcla con acelerante de fraguado a los 3 días o 72 horas, en la construcción de todos los muros para que el tren de actividades de los muros anclados sea más óptimo y no presente paralizaciones, se tuvo mucho cuidado en el refuerzo del encofrado de la zona inferior para evitar la aparición de segregaciones.

Por otro lado, se tuvo en cuenta las partidas de desencofrado y curado dentro del tren de actividades para poder darle un seguimiento a cada muro, además se buscó que los equipos utilizados para el movimiento de tierras ayuden con el retiro de encofrado para que ningún muro quede atrapado por más de un día sin curar.

### **Consecuencias de un Slump muy alto.**

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

El hecho de trabajar con una mezcla de concreto de alto Slump puede presentar observaciones en el acabado de los muros, por ejemplo tenemos lo siguiente: Al tratarse de una mezcla más líquida, el empuje que genera en los paneles de encofrado es mucho mayor, el cual puede generar observaciones por desplome en caso que no se haya modulado correctamente el refuerzo de apuntalamiento, adicionalmente al haber mayor pasta de cemento y aditivos, esta puede escapar por las zonas inferiores del encofrado debido a que el mismo está apoyado sobre el terreno excavado, lo cual conlleva a la aparición de segregaciones en estas zonas de los muros, también implica menor fuerza de compactación el cual se debe tener cuidado con el vibrado ya que si no se mide correctamente 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 los muros anclados, fue planteada con una mezcla de Slump de 4''-6'' y por el uso de tuberías metálicas se utilizó un Slump de 6'' - 8''.

### **Consecuencias de un Slump muy bajo.**

Cuando el Slump es considerado como bajo cuyo resultado de la prueba de cono de Abrams se encuentra por debajo de 6'', normalmente este tipo de concreto es usado principalmente en las cimentaciones, esto quiere decir que cuando el mixer vierte directamente el concreto desde su tolva hasta el elemento a vaciarse o cuando se planea ejecutar el vaciado utilizando un concreto desde una torre grúa usando el balde de concreto o usando una bomba pluma.

En la construcción de muros anclados se puede vaciar con una mezcla de concreto de bajo Slump, pero hay que tener en cuenta algunas consideraciones, el tramo que recorrerá dicha mezcla debe ser el menor posible, por otro lado si se usara tuberías metálicas, se recomienda que la tubería en campo sea mayor o igual a 5" de diámetro de esta manera se garantizara la bombeabilidad de la mezcla, otro punto importante es tener en cuenta la época de vaciado, ya que en épocas de mucho calor la fragua del concreto en las tuberías metálicas es mucho más rápido.

El tiempo de vida de un concreto de bajo Slump es menor al de un concreto con un alto Slump y en muchas ocasiones llega a producirse el atoro en las tuberías, cuando esto ocurre, se pierde el tiempo en la maniobra de desatoro, el hecho de limpiarlas y volverlas a conectar, mientras tanto el concreto ya vaciado empieza a fraguar dentro de los paneles, por lo que al reanudar el vaciado, se generan las cangrejas, las juntas frías sin importar la cantidad de fuerza y el tiempo de vibrado que se proporcione a la mezcla, para evitar estas situaciones, se recomienda tener los puntos mencionados líneas arriba.

En el proyecto se trabajó con dos tipos de Slump para los primeros anillos con un Slump de 4"-6" y para los anillos inferiores de 6"-8", se utilizó la bomba estacionaria o TK que además incluía la instalación de tuberías metálicas de 5" de diámetro de más de 100 m de longitud instaladas en los ejes 4 y 16 y una bomba pluma de 36m de brazo.

## **Refuerzo del encofrado.**

Los refuerzos en el encofrado sirven para soportar los empujes horizontales que se genera por la mezcla del concreto premezclado, la principal función de estos refuerzos es disminuir los desplomes en el acabado de los muros.

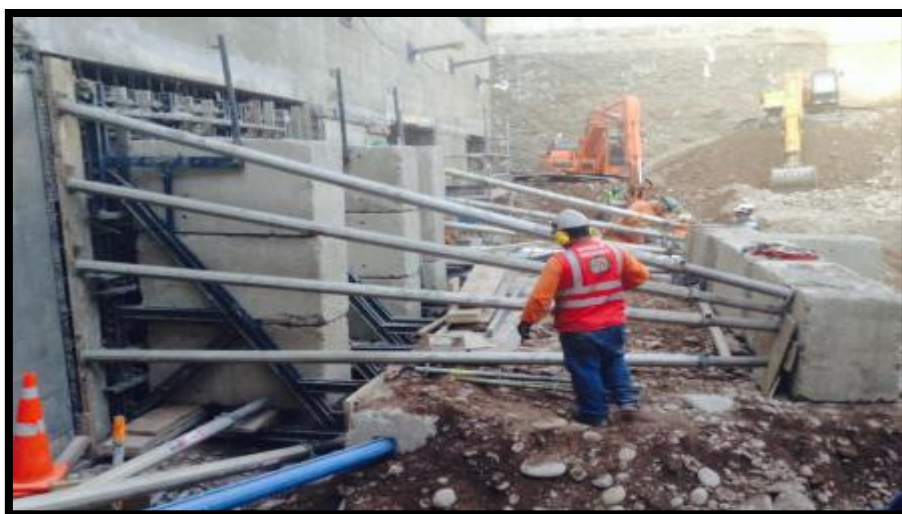
Para la construcción de los muros anclados es importante un refuerzo adicional al apuntalamiento que se puede generar en la construcción de los muros pantalla tradicionales que va junto con la construcción de la estructura, la principal diferencia se genera en el tipo de superficie sobre la cual se soportan 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 los sótanos ya vaciados inclusive se dejan mechas de fierro para poder generar un anclaje entre los puntales.

En la construcción de los muros anclados el cual se soporta sobre el terreno, cuando construimos sobre el terreno las fuerzas que soportan el empuje de la mezcla serán el peso del refuerzo puesto en el encofrado y la fuerza de rozamiento que se genera por la masa vertical que yace sobre el terreno.

Por lo que mientras mayor sea la masa que se coloque como refuerzo mejores resultados se tendrán en el acabado de los muros en cuanto a los desplomes, cabe indicar que como refuerzos se usan bloques de concreto (esta es una opción ya que en nuestro proyecto no se usó este tipo de refuerzos) lo que si se llegó a usar fueron las camas de arena que servía de soporte y dar la rigidez a los dados de concreto.

Figura 42: Refuerzo tradicional utilizado en el encofrado de muros.



Fuente: Propia.

### **Espesor de recubrimiento en los muros.**

El recubrimiento es primordial en un elemento estructural de concreto armado ya que protege al acero de los factores externos, como es la humedad o la temperatura.

El espesor es determinado por el ingeniero estructural, el cual toma en consideración que, si el elemento tendrá contacto con el suelo o no, la cantidad de acero que llevara, ver que tan expuesto al aire libre estará, las cargas que soportara y la deflexión que puede sufrir.

Los elementos que tienen contacto directo con el suelo y soportar una carga bastante grande, las cuales son las losas de cimentación y zapatas, suelen tener un recubrimiento de 6-7cm, las columnas, vigas y placas suelen tener un recubrimiento menor al de las zapatas aprox. 4 cm debido a que no están expuestas directamente con los factores del medio ambiente antes mencionados, pero si deben soportar una gran carga debido a que son las encargadas de soportar la estructura, en cuanto a los muros con anclaje temporal, hablando específicamente de la cara interna ya que la cara externa lleva un recubrimiento mayor al 5cm por el contacto directo con el terreno, el recubrimiento promedio es de 2.5 – 3 cm.

El espesor influye directamente en el acabado de los muros, debido a que esa zona de recubrimiento (recubrimiento entre el acero y encofrado) no puede ser vibrada directamente, ya que una aguja vibradora posee un diámetro entre 1”-1 ½” (2.5 - 4 cm), es debido a este tamaño que la aguja no entra en la zona de recubrimiento. El vibrado se debe hacer en la zona interna de la armadura es por ese motivo que algunas burbujas de aire no llegan a completar su recorrido horizontal (hasta la cara del encofrado) y vertical (hasta la superficie), por lo que, al aumentar la distancia a recorrer, estas burbujas de aire quedan atrapadas en la mezcla de concreto que empieza a fraguar, generando de esta manera cangrejas y segregaciones.

Cuando el espesor de recubrimiento es demasiado bajo, la adherencia entre el acero y el concreto no podría llegar a ser óptima, sumándole un curado inadecuado en los primeros días de fraguado, el resultado deriva una falla de adherencia, la cual ocasionara fisuras en la cara del concreto

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

El control topográfico debe ser exhaustivo en estos tipos de proyectos, se puede realizar un control prevaciado, el cual se verificara el plomo de las caras de encofrado medido desde la estacional total, un control durante el vaciado el cual el topógrafo le indica al carpintero si es que la presión de la mezcla del concreto está generando un desplome en los paneles de encofrado y si la solución sería inmediata mediante el ajuste de los refuerzos que sostienen los paneles, devolviendo la cara del muro a la posición más 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 una posición inicial en caso se presente un desplome o desajustarlo en caso la mezcla del concreto no haya superado la contra flecha dejada inicialmente.

Adicionalmente sumaremos la labor de control 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 del acero de refuerzo y los paneles mediante el uso de separadores de encofrado, el aplomado de los muros y la modulación de los refuerzos de apuntalamiento en el encofrado.

## **5.2 Optimización de los procedimientos de trabajo.**

Para optimizar los trabajos se presentarán algunas propuestas de mejoras, adicionalmente después de detallar cada propuesta de mejora se generará un procedimiento optimizando en la cual se aglomerarán todas las propuestas.

### **Lecciones aprendidas e innovación.**

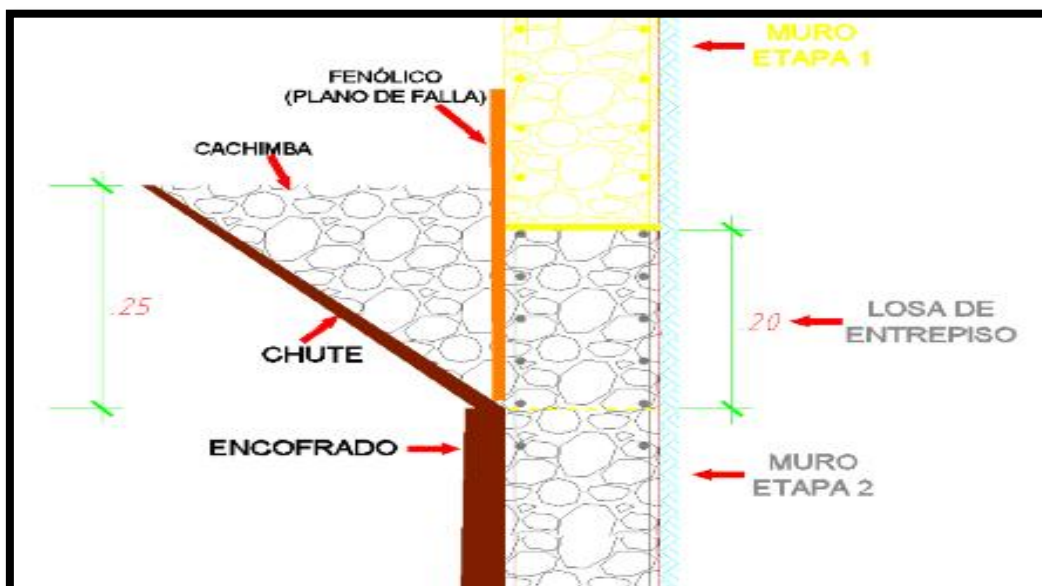
#### **Diseño alternativo de cómo tratar las cachimbas.**

Para los vaciados realizados en la construcción de los muros anclados se utiliza una estructura conformada por tablonces de madera llamada chute, el cual se instala en la parte superior del encofrado formando un plano diagonal, de esta forma servirá de ayuda para la descarga e introducción por gravedad del concreto premezclado dentro del encofrado.

Para asegurarnos que la mezcla del concreto llene completamente el molde del encofrado, el chute se instala de tal manera que su parte más alta este unos 5 centímetros más arriba del nivel de unión de los muros.

Al momento de realizar el vaciado del concreto pre mezclado se llenará totalmente el chute, el concreto que se queda fuera del molde formando un molde de chute se le denominara cachimba, esta cachimba se demolerá después de realizar el desencofrado del muro, para poder tener una mejor visión uniformemente plana a la unión de los muros y a la vez liberar las mechas de la losa de entre piso que queden dentro del vaciado.

Figura 43: Esquema del chute y plano de falla.



Fuente: Propia.

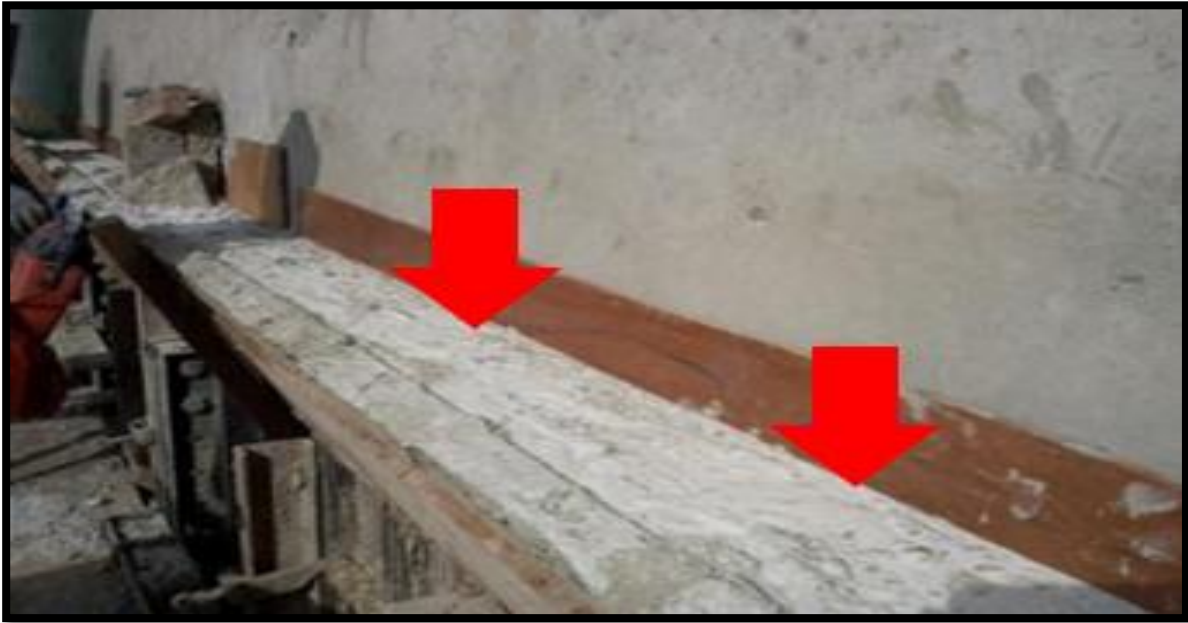
Este procedimiento de picado de cachimba consume por lo general horas hombre, horas máquina y equipos, un operario se encargará de picar la cachimba utilizando un martillo y una cizalla para quitar los alambres que haya quedado atrapados en la cachimba.

Una forma de optimizar dicho trabajo es minimizar el uso de las horas hombre y las horas máquina para este procedimiento, la idea es implementar un tablón o una plancha de fenólico de 6mm de preferencia aplicado desmoldante el cual se colocaría entre la cachimba y el muro una vez culminado el vaciado, la plancha de fenólico creara un plano de falla entre la cachimba y el muro, separándolos parcialmente, de esta manera cuando el concreto ya completo su endurecimiento, la cachimba quedaría separada casi de manera total del muro, dejando formar de esta manera una estructura monolítica y por lo tanto siendo más fácil el procedimiento para su demolición y resane respectivo.

Al retirar la cachimba, primeramente, el operario retirará los fenólicos o tablonas cuidadosamente ya que este será usado para trabajos posteriores, luego deberá usar un martillo para demoler la estructura el cual disminuirá drásticamente las horas hombre y horas máquinas para este proceso.

Después de retirar los tablonas o el fenólico del muro anclado este quedara con un acabado mucho más liso y limpio (no quedara rugoso producto de un picado) el cual solo necesitara de una limpieza y un solaqueo, mas no será necesario un resane.

Figura 44: Plancha de manera que separa a la cachimba.

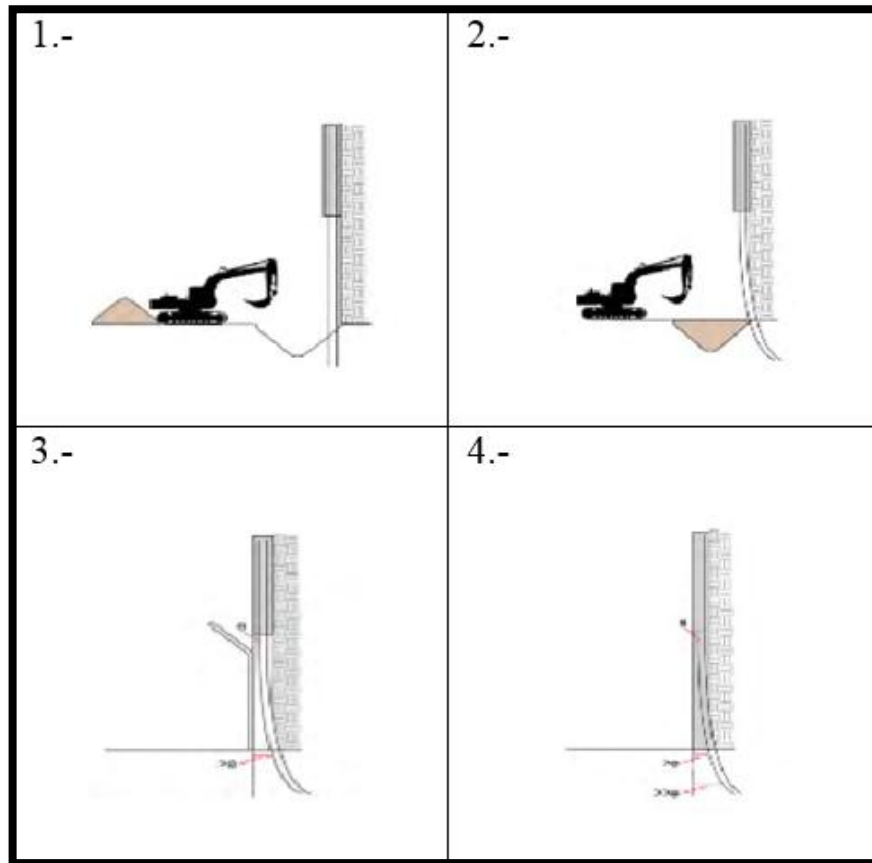


Fuente: Propia.

### **Enterrado de malla de acero.**

Luego de haber colocado las bolsas, el enterrado parcial de la malla de acero será con la ayuda de una excavadora, seguidamente con una pareja de ayudantes se procederá a enterrar la malla, no se recomienda el enterrado total con la excavadora, porque podría arquear la malla y también las mechas no estarían alineadas a los anillos inferiores, en las siguientes imágenes, se detallan los procesos erróneos por las cuales algunas empresas con poca experiencia realizan estos trabajos, además no se cumplirá con el recubrimiento especificado en los planos, a lo que se llegara a grifar las barras de acero para cumplir con el recubrimiento.

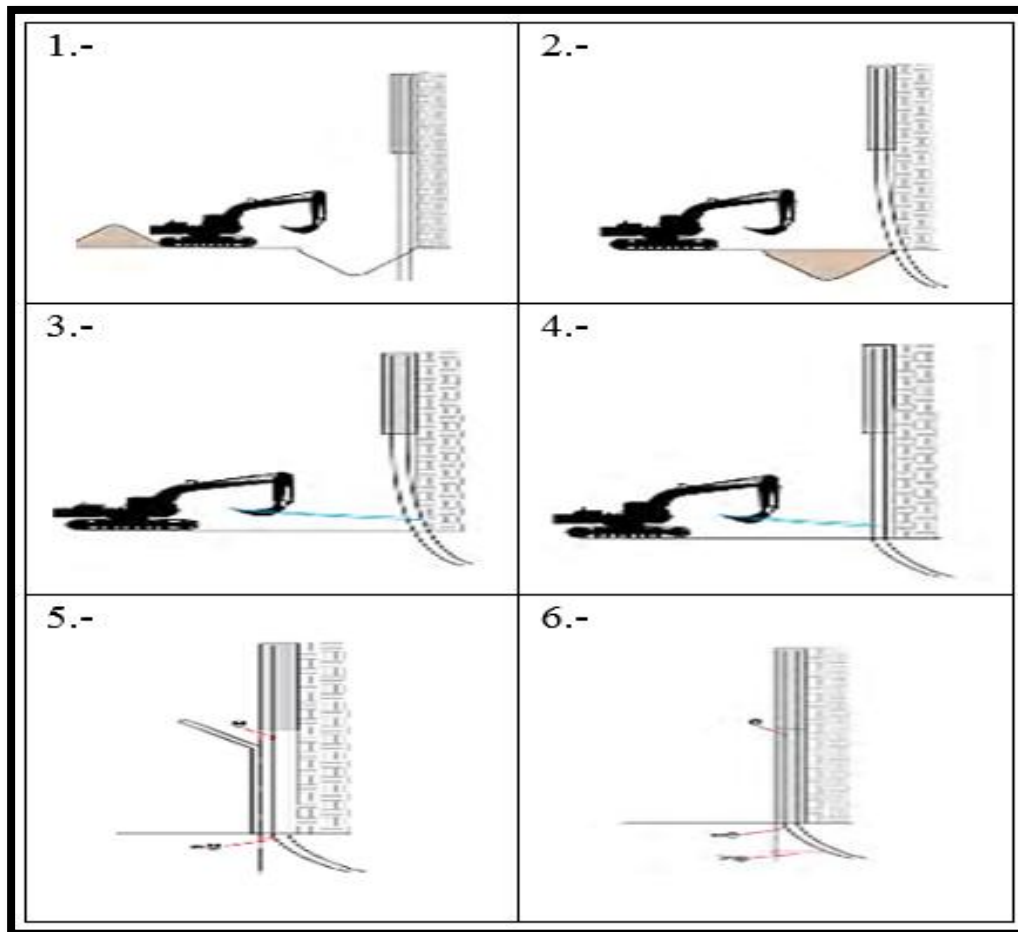
Figura 45: Procedimiento erróneo realizado en algunos proyectos.



Fuente: Propia.

Otro procedimiento erróneo es la siguiente figura, con una ayuda provisional, otro tipo de corrección provisional es colocar unos separadores tipo U o grapas de acero, de forma horizontal tal que sus puntas se introduzcan en el terreno y cuando se quisiera enterrar con la maquinaria no se doble en gran magnitud, pero tampoco garantiza la verticalidad, pues se tendría que colocar gran cantidad de grapas a lo que impactaría en los costos de la obra y por lo tanto esto no se da.

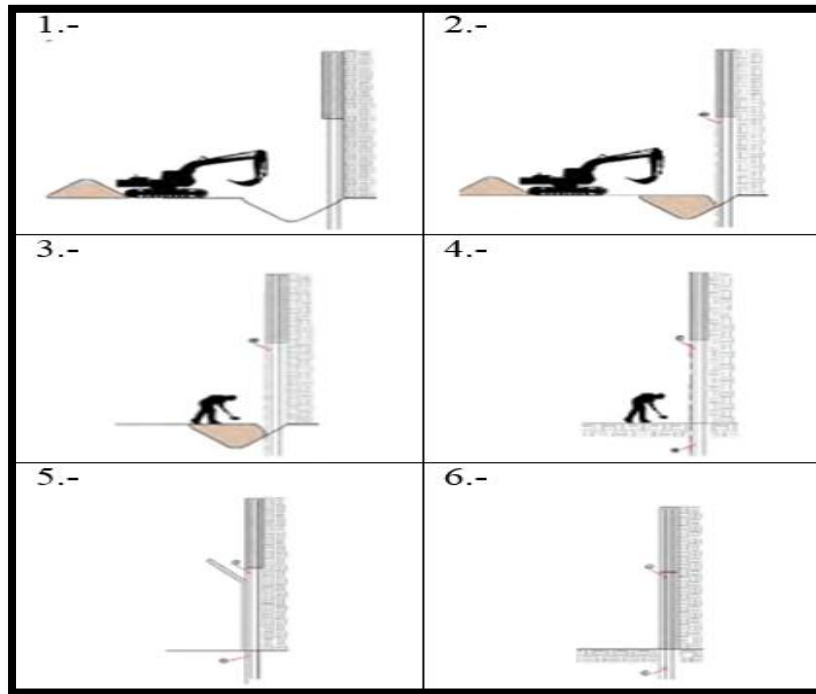
Figura 46: Proceso errado, luego se corrigió.



Fuente: Propia.

En la siguiente figura se muestra el correcto enterrado de las mechas, de esta manera se evitará el uso de las horas maquina en vano, este proceso será el más óptimo y el más efectivo.

Figura 47: Trabajo mejorado.

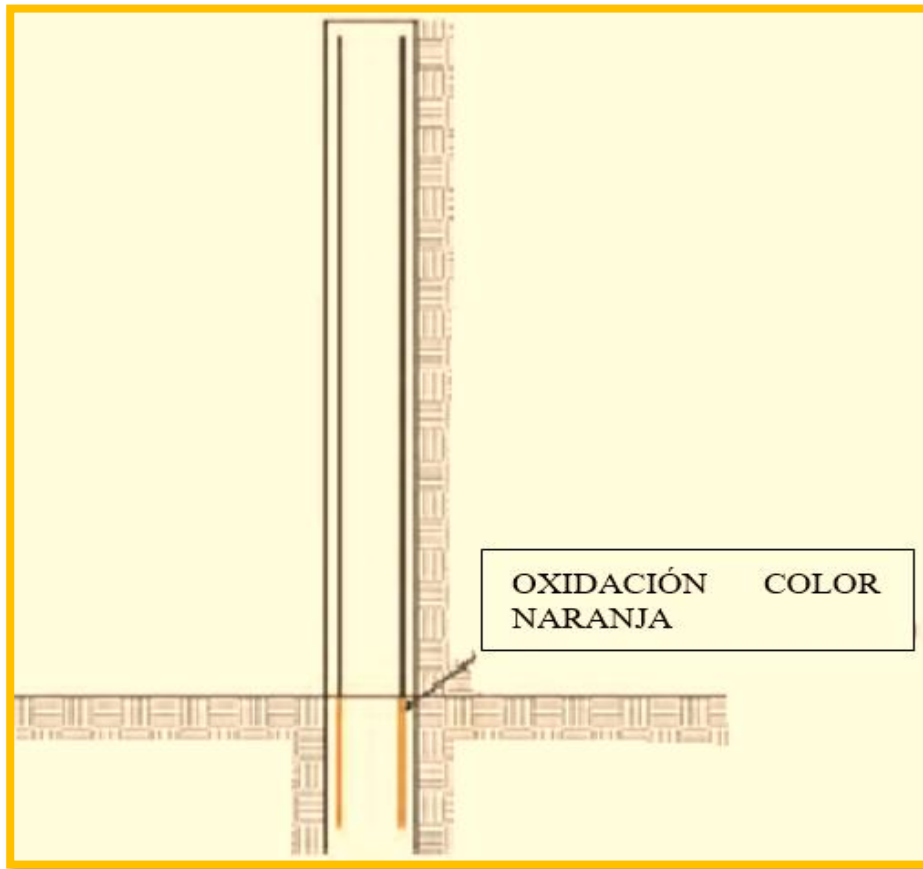


Fuente: Propia.

### **Colocación de bolsas plásticas en las mechas de acero.**

El uso de las bolsas de plástico es imprescindible para proteger el acero de los agentes oxidantes que tiene el suelo, en la siguiente, se puede notar como el acero tiende a oxidarse al estar en contacto con el suelo.

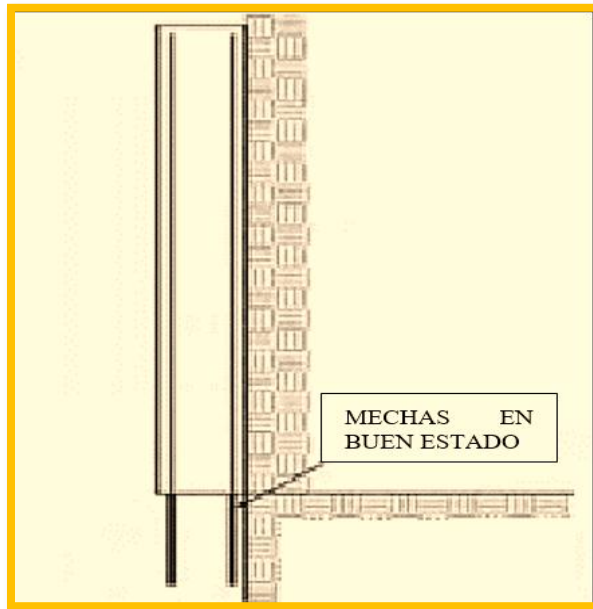
Figura 48: Acero sin protección.



Fuente: Propia.

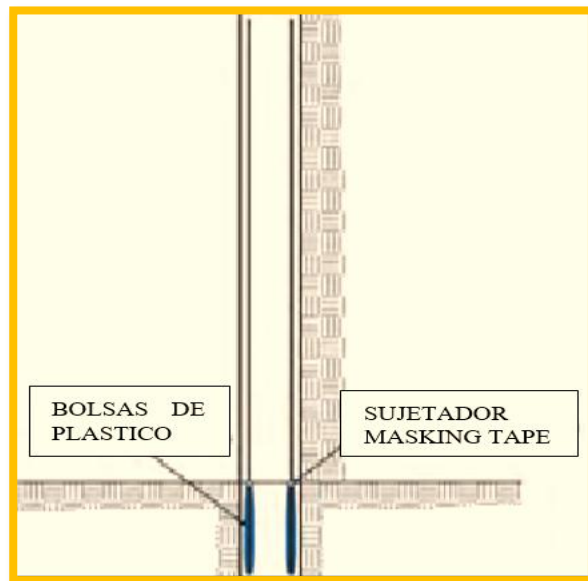
Para ello en la actividad de corte de terreno se realiza una sobre excavación en la parte inferior para las mechas sobresalientes, que luego de colocar la malla, estas se entierran por el mismo suelo que se retiró, estas mechas sobresalientes posteriormente serán traslapadas con el siguiente anillo inferior en la siguiente, se muestra la verificación de la verticalidad de la malla y también se observa la presencia la protección a las mechas.

Figura 49: Sobre excavación para mechas



Fuente: Propia.

Figura 50: Protección del acero.



Fuente: Propia.

Figura 51: Protección del acero en obra.

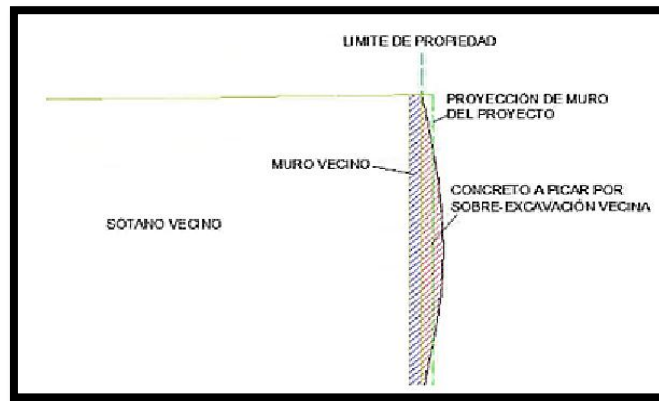


Fuente: Propia.

### **Picado de concreto de muros de sótano de construcciones vecinas.**

En la actualidad se construyen edificios con sótanos, a lado de otro edificio que presenta sótanos, si bien es cierto que estos evitan los costos en anclaje de muros, ya no que se presentara el problema de estabilidad de taludes en esa zona, pero se generara una actividad adicional que es el picado de concreto de la estructura vecina.

Figura 52: Sobre excavación vecina – muro de concreto a picar.



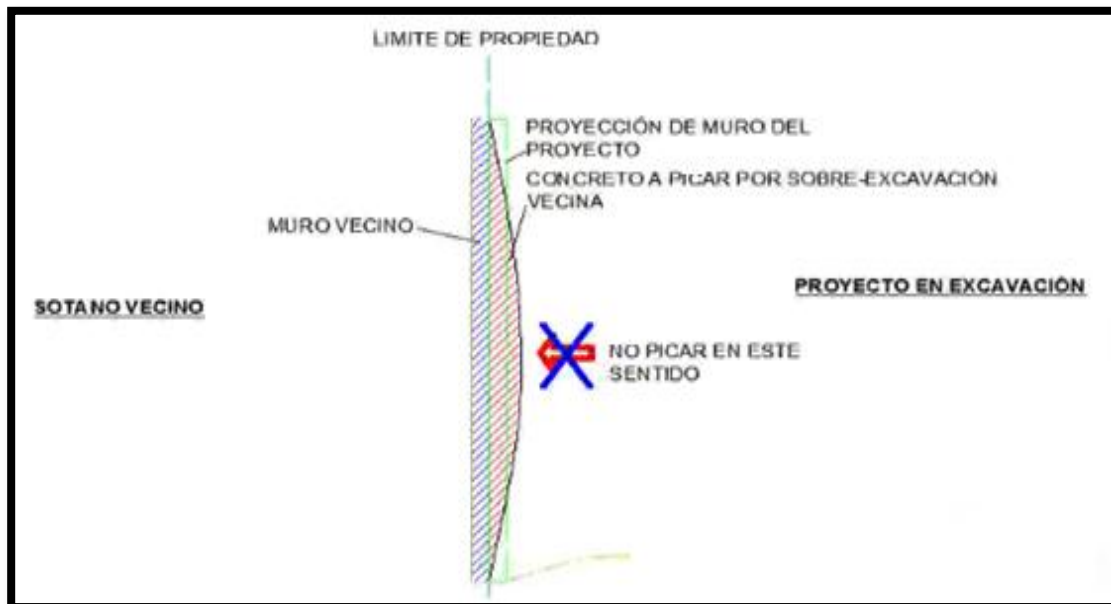
Fuente: Propia.

Es más que probable que cuando se construyó los muros anclados de una edificación vecina se haya generado una sobre excavación, por lo tanto, un mayor volumen de concreto, por lo que al excavar en nuestro proyecto los muros de sótano de división con el edificio vecino nos encontremos con el concreto de su muro invadiendo nuestra propiedad, por lo que se genera la actividad de picado de concreto, esto genera una nueva partida que se vería afectado el tren de actividades.

Dependiendo de la longitud de encuentro con el muro vecino podría requerir una gran cantidad de picadores el cual incluye un martillo neumático, se sabe que el rendimiento de estos picadores es bajo en estas condiciones, ya que el picado que se realiza es de arriba hacia abajo, sino que también es en línea horizontal, esta actividad genera un desgaste físico, en algunos casos hasta se podría requerir el uso de andamios.

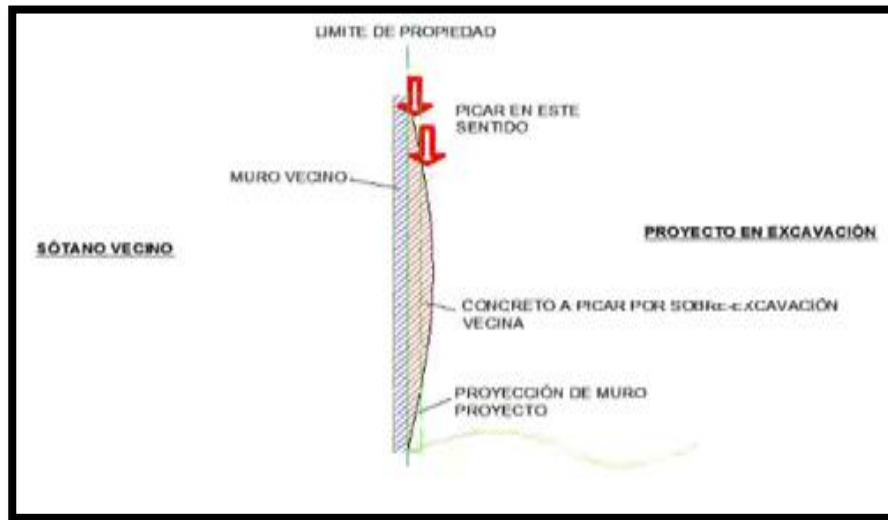
Por ello es recomendable de una maquinaria como un minicargador que incluye un martillo demoledor (picotones) el cual tendrá un rendimiento y un mayor alcance lo que equivale un ahorro en costos (considerando específicamente un ahorro en personal, alquiler de equipos, andamios y tiempo de trabajo), el operador del minicargador tiene que tener la experiencia necesaria a fin de no dañar el muro de concreto del vecino, cabe indicar que el picado debe realizarse de arriba hacia abajo, esto siempre y cuando se considere realizar la actividad durante la excavación masiva.

Figura 53: Forma incorrecta de realizar el picado por sobre excavación.



Fuente: Propia.

Figura 54: Forma correcta de realizar el picado por sobre excavación.

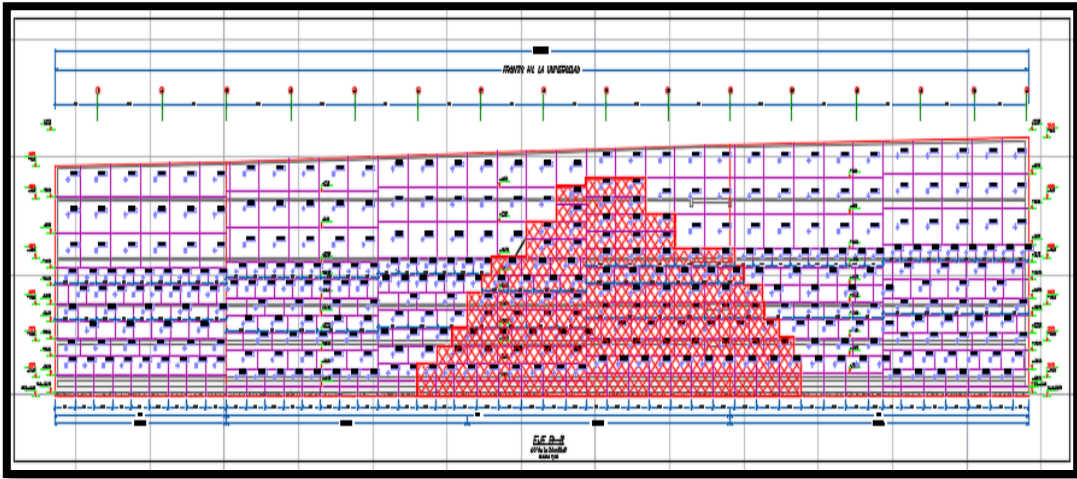


Fuente: Propia.

### **Muros sin ejecutar en la zona de rampa.**

Un problema muy común en las excavaciones profundas para proyectos de edificación es el método y la velocidad con la cual se elimina el material de la excavación. Una solución habitual es el uso de la rampa, esta es una solución limitada ya que habrá un gran número de paños atrapados en ella, los cuales estos se construirán mientras se va eliminando la rampa poco a poco, ya que se tiene que seguir un proceso constructivo para la construcción de los paños intercalados y su respectivo tensado de los muros de un nivel para seguir excavando por debajo de este, todo proceso de construcción de muros en zona de rampa suele ser muy lento y conlleva a un retraso en las siguientes etapas de la construcción de la cimentación.

Figura 55: Muros atrapados en zona de rampa.



Fuente: Propia.

Figura 56: Muros atrapados en zona de rampa.



Fuente: Propia.

Un método para solucionar la construcción de los muros atrapados en la rampa es el uso de una faja transportadora, el cual permite transportar el material de una zona más profunda de la excavación directamente hacia el volquete en el exterior del proyecto, por lo cual no se tendría la necesidad de usar una rampa, así eliminando todos los problemas que la rampa conlleva. Adicional a esto, se puede llegar a niveles mucho más profundos en proyectos que presentan dimensiones reducidas, por tener dimensiones pequeñas no se podría lograr una rampa.

Figura 57: Uso de fajas transportadoras.



Fuente: Propia.

El uso de las fajas transportadoras es un método muy práctico para la eliminación de material en proyectos de edificaciones, esta se puede utilizar en conjunto con el uso de la rampa, esto quiere decir que de todas maneras se va a generar una rampa en la etapa inicial de las excavaciones.

Para un periodo de inicio de puesta en funcionamiento de la faja transportadora es entre el segundo y tercer anillo, ya que para la eliminación de material de los primeros anillos será mediante una rampa, lo recomendable es que el proceso de montaje de la faja se inicie al mismo tiempo que la construcción de los muros anclados, de tal forma se ganara tiempo en su proceso de montaje y esté en funcionamiento cuando el proyecto llegue al tercer anillo, por lo tanto la construcción de los muros situados en la zona de rampa será homogénea y continua.

Se tiene que tener en cuenta que la faja transportadora elimina el 30% menos que cuando se usa la rampa para la eliminación. Finalmente dependerá mucho del área y la profundidad de cada proyecto, para evaluar la posibilidad de usar más de una faja transportadora, a continuación se tendrán unos tips para utilizar una faja transportadora. El tamaño de la faja transportadora dependerá del tipo y profundidad del proyecto, ya que se requiere cierta pendiente de inclinación, si la longitud de la faja es muy grande se optará por usar fajas transitorias que funcionen como extensiones de la faja principal, se detalla en el siguiente cuadro un estimado de fajas y transiciones.

Tabla 6: N° sótanos y Utilización de fajas.

<b>N° DE SOTANOS</b>	<b>LONGITUD DE LA FAJA</b>
1 - 4 SOTANOS	1 Faja Principal
5 -8 SOTANOS	1 Faja Principal + 1 Faja de transicion
9 - 12 SOTANOS	1 Faja Principal + 2 Faja de transicion

**Nota: Dependerar mucho del area donde se ejecutara el proyeco**

Fuente: Propia.

La posición de la faja transportadora es un criterio muy importante que se tiene que tomar en cuenta, la faja transportadora en conjunto con las de transiciones deben estar siempre orientadas hacia el centro del proyecto, de esta manera se puede acumular todo el material a cortar y eliminar al centro dejando libre todo el perímetro del proyecto para la construcción de los muros anclados, además se reducirían los tiempos de acarreo de material en el proyecto.

Figura 58: Uso de fajas transportadoras para la eliminación de material.



Fuente: Propia.

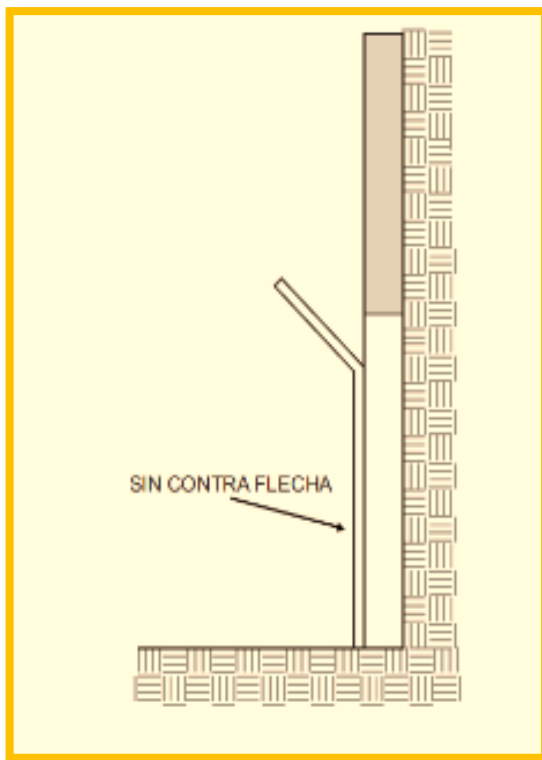
La cantidad de fajas transportadoras dependerá mucho de la cantidad de material total a eliminar y de la velocidad con la que todo el material se desea, una faja transportadora tiene la capacidad de transportar un promedio de 700m<sup>3</sup>/día.

Además, se deberá tener en cuenta que para cada faja transportadora se deberá contar con dos excavadoras, una dedicada a alimentar de material a la faja transportadora y la segunda a proveer de material a la primera excavadora.

### Contra flecha horizontal en el encofrado.

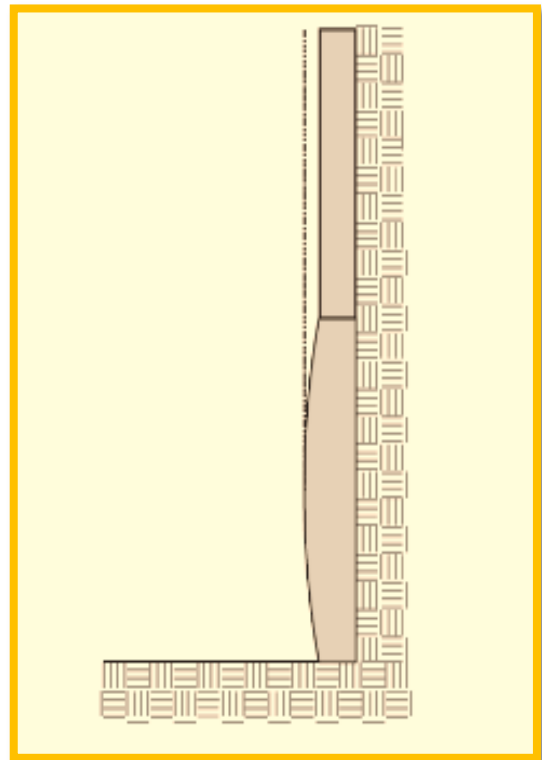
El desplome máximo tolerable en los elementos verticales es de 12mm, el encofrado se encuentra alineado a la cara del muro sin contar con contra flechas, colocar de esta manera el encofrado generara desplomes de los diversos tipos:

Figura 60 Sin contra flecha



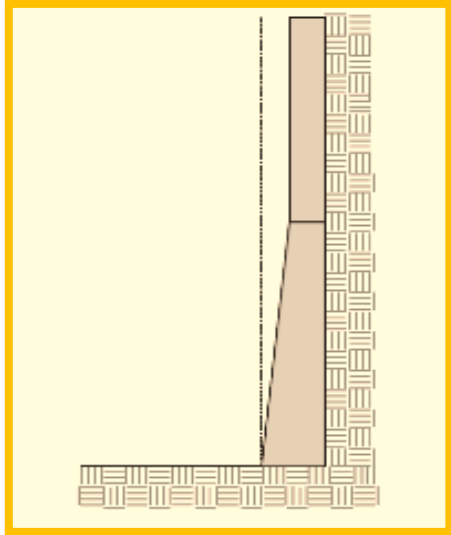
Fuente: Propia.

Figura 59: Desplome máximo.



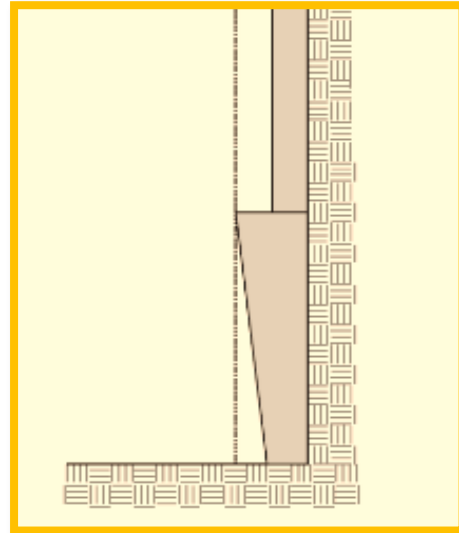
Fuente: Propia.

Figura 62: Acción de prevención.



Fuente: Propia.

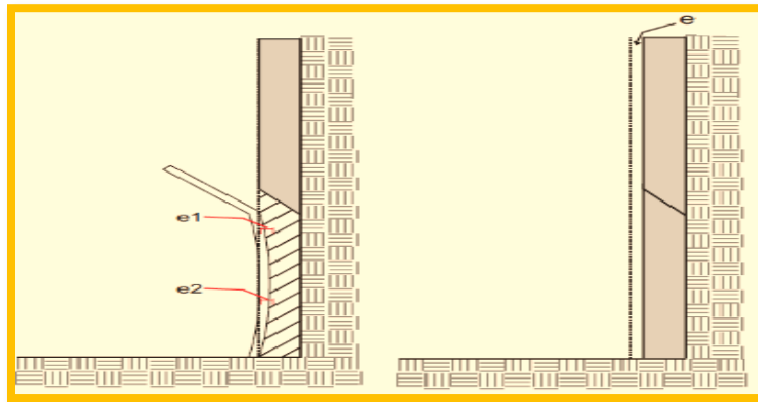
Figura 61: Acción de prevención.



Fuente: Propia.

Para no excedernos de esa tolerancia, se debe colocar contra flechas horizontales, perpendicular al muro, tal que cuando se empiece y se termine con el vaciado del concreto el desplome será por debajo de los 12mm, lo recomendable es usar contra flechas de 1cm en la parte superior y 2 cm en la parte inferior respecto de su posición inicial ya que el empuje del concreto se concentra mucho más en las zonas inferiores del muro, además lo recomendable es usar encofrados semipesados.

Figura 63: Contra flechas en el encofrado.



Fuente: Propia.

Además, se debe considerar una velocidad de vaciado algo lento, de tal forma que el concreto vaya fraguando lo cual se reducirá la presión (en estado fluido) sobre el encofrado, reduciendo además la posibilidad de desplomes en el muro anclado.

### **Apertura de los paños consecutivos.**

Es conocido este proceso de apertura de paños en forma de dameros, pues este proceso es el adecuado. Sin embargo, si contamos con franjas largas que incluyen varios paños de 3.50x5.00m es posible realizar la excavación y vaciado de paños continuos, previa consulta con el subcontratista que realiza el tensado de los anclajes, pues tienen que realizar el análisis del suelo y del muro de concreto con la tensión del cable para saber hasta cuantos paños se pueden realizar y cuál es la longitud que debe contar nuestra berma de seguridad.

En los proyectos lo hacen de dameros para 2 paños con 2 bermas de seguridad como se puede observar en la siguiente, lo recomendable es realizar en los últimos anillos debido a que a los empujes laterales del terreno es menor. Para lo cual se debe realizar dicha excavación teniendo en cuenta que el anillo superior este vaciado y tensado para realizar dichos trabajos.

Figura 64: Excavación de paños consecutivos.



Fuente: Propia.

### **Optimización de la modulación de los muros.**

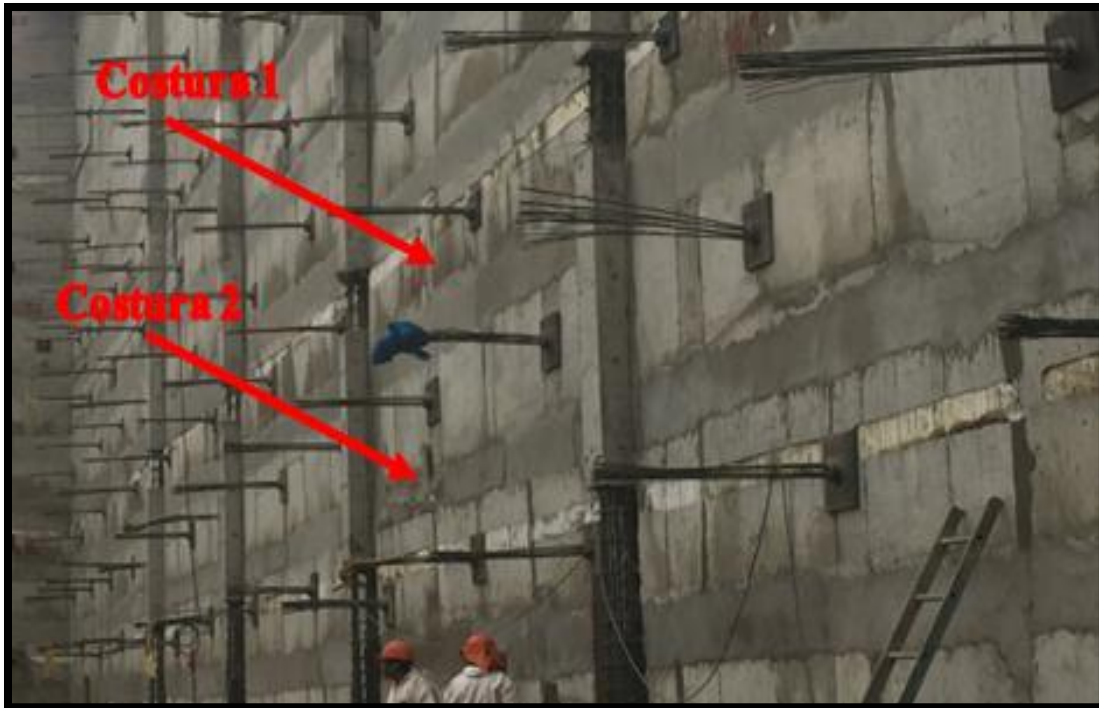
La gran mayoría de las constructoras realizan su trabajo en base a los planos recibidos por el proyectista, sin embargo, por lo general se puede optimizar estos planos en base al diseño o modulación, este caso se puede apreciar en la construcción de los muros anclados.

La modulación de los muros anclados por lo general es de 3.50m x 5.00m para sus paños típicos, estas dimensiones pueden variar para los primeros dos o tres anillos, el cual dependerá mucho de la estabilidad del terreno, este es un buen pre-dimensionamiento ya que permite a la excavadora poder perfilar un paño en promedio de 1 - 1.5 horas, permitiendo a la cuadrilla perfilar hasta 6 paños diarios, esta cantidad de paños dependerá mucho de las condiciones que se dan.

Una forma de optimizar los muros es mediante el ajuste de la modulación de los paños con respecto a la altura de los sótanos del proyecto, usualmente se observa dos costuras de picado, la primera es el encuentro del paño superior con el inferior y la segunda es la intersección de la losa de techo del sótano con el muro anclado.

Una forma de optimizar se obtiene mediante el ajuste de la modulación el cual se busca unificar las costuras de los paños, esto quiere decir que de dos costuras pasara a ser solo una, el cual permitiría un ahorro de horas hombre, materiales, equipos, en las partidas de picado de cachimbas y resane de estas, además el acabado del muro se vería mucho mejor, también consideraremos el espesor de los muros ya que en algunos casos queda exactamente a la altura de la costura y no en medio del paño, así no se modificara la modulación del paño del encofrado.

Figura 65: Avance de la construcción de los muros.



Fuente: Propia.

### **Optimización del diseño de los muros anclados.**

Anclaje o placa metálica: Se sugiere que estas placas de apoyo por donde pasan los cables de acero para ser tensados deberán ser colocadas de manera perpendicular y no en diagonal. Esto con el fin de no volver a realizar trabajos de picado y resane para poder darle la base adecuada a la placa en diagonal, adicionalmente el resane por posibles cangrejas que se presentan.

Figura 66: Placa metálica instalada en diagonal.



Fuente: Propia.

### **Amolado de los muros, después del desencofrado.**

Una buena práctica es de realizar el amolado inmediatamente después de haber realizado el desencofrado, donde se presentan las rebabas y asperezas con el fin de darle un buen acabado al muro, este trabajo se realiza con una amoladora y un disco de copa o de desbaste, normalmente estos trabajos de acabado se realizan una vez construidos los muros y las losas de techo de los sótanos lo cual estos trabajos requiere equipos de inyección y eyección de aire en los sótanos, ya que por ser considerados espacios confinados las normas de seguridad obligan el uso de estos equipos.

Figura 67: Resane después de desencofrado.



Fuente: Propia.

Por lo que, si se realiza el amolado de los muros una vez desencofrado y antes de la excavación del anillo inferior, se podrá realizar los trabajos de amolado sin la necesidad de usar equipos para espacios confinados ya que los trabajos de amolado se realizarían al aire libre.

### **Exceso de concreto por sobre excavación o derrumbes.**

La partida de corte de terreno debe ser realizado por un operador de excavadora experimentado, este debe realizar la actividad con la rapidez y precisión con el fin de obtener una profundidad parecida a la que indican los planos, se deberá contar con un error 0.10m como máximo en la zona central, zona en la cual la cuchada de la maquina se extiende con mayor facilidad y la cual se genera una sobre excavación.

Al presentarse una sobre-excavación durante el proceso de corte de terreno y perfilado de paños, con el fin de evitarse sobrecostos por exceso de concreto, algunos contratistas instalan planchas de tecnopor en la cara contra-terreno del muro. Esta actividad no es muy recomendada por ningún estructural ya que presentara diversos problemas que se detallan a continuación. Un primer caso es el falso contacto entre el muro y el terreno; donde el muro es diseñado para que trabaje en total contacto con el terreno, por lo que al instalar el tecnopor este generaría inestabilidad.

El segundo caso es la rotura del tecnopor ante un sismo ya que es un material muy frágil, el cual ocasiona un vacío ficticio entre la cara interna del muro y el terreno (ambos trabajan de manera individual) en este caso el estructural no lo considera al realizar dicha modelación.

El tercer caso que se generaría es el derrumbe del suelo superior y frontal respecto del muro. En general, no es recomendable el uso de planchas de tecnopor para controlar el exceso de concreto por sobre-excavación.

Para controlar los trabajos de corte de terreno y perfilado lo recomendable poner una pareja de topógrafos de manera permanente, los cuales dejaran puntos de referencia durante la excavación de paños de esta forma se evitará la sobre-excavación.

Este control por parte de la cuadrilla de topografía reducirá enormemente el exceso de consumo de concreto acumulado, reduciendo los desperdicios. Adicionalmente la cuadrilla de topografía también indica la posición correcta de las mallas de acero de una manera más precisa, de tal forma que se respete los recubrimientos de concreto, evitando re-trabajos.

### **Cangrejas alrededor de pase de cables y burbujas de aire en superficie de concreto.**

Usualmente la zona cercana al punto de anclaje de los muros anclados de concreto requiere de mayor refuerzo de acero. Al tener una alta concentración de acero en dicha zona es muy alta la probabilidad de aparición de cangrejas, además de ser un punto que usualmente no es bien vibrado y ocasionalmente falta de recubrimiento del acero en dicha zona.

A raíz de este problema se tendrá que agregar nuevas actividades (picado y resane) y, por ende, es un costo no presupuestado (pérdida). Para evitar este problema el uso de dados de concreto en las mallas de acero que están más cerca del encofrado y, al momento de vibrar, usar vibradoras con mangueras largas; además de golpear con martillo de goma las zonas profundas (lugares donde la manguera no tenga acceso) para que la lechada ingrese.

Es bastante recurrente el problema de la alta cantidad de burbujas de aire atrapado en la superficie de concreto; esto producto de un vibrado y golpe con martillo de goma deficiente. Se debe de realizar golpes por toda la superficie del encofrado de manera constante durante el vaciado para permitir que las burbujas de aire salgan al exterior.

### **Procedimiento optimizado.**

En el presente acápite se presentará una manera resumida del procedimiento constructivo de muros anclados, esta vez incluyendo todas las mejoras y recomendaciones mencionadas. Durante el diseño, considerar utilizar una modulación de muros anclados del mismo alto que los entrepisos de losa, de tal forma que coincidan las zonas de intersección muro-losa con la costura de la cachimba de vaciado. Por otro lado, también se debe evaluar la opción de uniformizar el ancho del muro de sótano si se observa que los sótanos cambian de espesor repetidas veces. Además, evaluar la opción de alargar la longitud de los cables de tensado, de tal forma que se pueda acelerar el proceso de tensado.

Realizar la excavación masiva de material propio de terreno, dejando cuidadosamente las bermas de seguridad. Para los primeros anillos es recomendable utilizar una rampa como ruta de ingreso de volquetes para la eliminación de material. Posteriormente, a partir del tercer o cuarto anillo utilizar una faja transportadora, de tal forma que se reduce todos los inconvenientes por el uso de rampa.

Realizar la perforación, colocación de cables e inyección de lechada.

Realizar el corte de berma de seguridad con maquinaria y perfilado manual de paño. Tener una verificación topográfica constante, de tal forma que se reduce las sobreexcavación. Aplicar una mezcla de agua-cemento para evitar el desmoronamiento de terreno y reducir la sobreexcavación.

No realizar el corte de bermas una al lado de otra, ya que siempre se tiene que dejar una berma de seguridad sin cortar en medio de dos paños cortados y perfilados, de forma que se reduce la probabilidad de falla del talud de terreno estabilizado. Confirmar con el proyectista de estabilización de taludes si se pueden abrir paños dobles, lo cual nos permitiría poder construir más rápido el anillo y poder seguir excavando los siguientes anillos.

Realizar la habilitación e instalación de la malla de acero. Las mechas de traslape inferior deberán ser enterradas con máquina y la parte más cercana a la malla manualmente, de tal forma que se respete lo máximo posible el recubrimiento del acero. Si las mechas estarán enterradas por mucho tiempo, cubrir con plástico para evitar su corrosión.

Realizar el encofrado del paño con el sistema de encofrado a elección. Considerar un tipo de encofrado que garantice la contención del concreto uniformemente en todo el paño del muro, de tal forma que se evita la aparición de desplomes. Adicionalmente, generar una contra-flecha en el encofrado, de tal forma que con el empuje del concreto se genere una superficie uniforme y sin desplomes. También se puede considerar el utilizar un desmoldante para el encofrado que disminuya la cantidad de burbujas de aire en la superficie de concreto.

Realizar un vaciado de concreto de cada paño a un ritmo lento, de tal forma que se reduzcan los desplomes de muros. Las cangrejeras se reducirán también con un buen vibrado en la zona de alta concentración de acero de refuerzo. Durante el vaciado generar un plano de falla para la cachimba recién vaciada.

Después de 24 horas de vaciado, se procede con el desencofrado. Inmediatamente después del desencofrado se debe realizar el curado del muro recién vaciado, además de amolar, resanar los muros y picar la zona de cachimba.

Después de que el concreto haya adquirido cierta resistencia (de acuerdo a lo indicado por el proyectista), se procede con el tensado de los cables. Luego del tensado de cables de por lo menos tres muros consecutivos, se podrá excavar en la parte inferior del muro tensado central y continuar con el siguiente anillo de muros.

## VI. CONCLUSIONES

En nuestro país actualmente los muros anclados son necesarios para proyectos de edificaciones en la ciudad de Lima debido a la gran cantidad de sótanos que se requieren y más aún con los cambios de parámetros que están exigiendo las municipalidades, siendo el procedimiento de sostenimiento de taludes el más seguro.

Es importante mencionar que se identificaron observaciones como juntas frías, burbujas, segregaciones y algunas cangrejas significativas. Las tres causas que originaron lo mencionado son: la forma de vibrado, tiempo de vibrado y por último el efecto del desmoldante en la limpieza de los paneles de encofrado.

Se debe tener en cuenta el slump y los acelerantes de fragua durante el planeamiento inicial de los muros anclados, ya que estas variables incluyen directamente en el acabado de los muros, como en la aparición de burbujas de aire, cangrejas, así mismo tener en cuenta la longitud y diámetro de la tubería metálica que se usará para el vaciado del concreto y por último la temperatura del ambiente influirá enormemente al momento del vaciado.

## VII. RECOMENDACIONES

Durante el proceso constructivo cada etapa es compleja ya que posee una gran variedad en los procesos constructivos, en los cuales siempre se tiene una constante supervisión, con el fin de controlar cada etapa del proceso e identificar las mejoras continuas, dependiendo de las condiciones del proyecto que se está ejecutando. Las mejoras constructivas en los procesos constructivos deben poseer innovación original y contemplar sus efectos en costos, productividad, calidad y seguridad en el proyecto y el plazo.

Se recomienda llevar un control de desplomes, cangrejas, segregación y burbujas de aire en todos los paños. Además, se debe llevar un control de rotura de probetas para el tensado de los anclajes. También se recomienda tener un mayor control del efecto de los desmoldantes en el encofrado desde el inicio de la construcción de los muros para así cuantificar los resultados y ejecutar cambios en los productos si fuese necesario, ya que estos son uno de los causantes de las burbujas de aire.

En la etapa de excavaciones masiva siempre existe material excedente que puede ser utilizado como refuerzo a los paneles de encofrado, lo recomendable es utilizar siempre este refuerzo ya que los paneles de los muros están apoyados al terreno, disminuyendo la fuerza que ejerce el concreto a fin de evitar desplomes.

## VIII. REFERENCIAS

Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación*. Caracas, Venezuela: Episteme – Sexta Edición.

Artacho, P. (2010). *Solución constructiva para excavaciones en suelos de textura arenosa, mediante el diseño de un muro contención con pilas ancladas - Estudio particular* (Tesis de Pregrado), Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

Cabellos, G. (2012). *Análisis comparativo de la estabilización de taludes mediante el uso de muros anclados y calzaduras en la construcción de edificaciones* (Tesis de Pregrado), Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Rengifo, J. (2015). *Muros anclados en arenas, análisis y comparación de técnicas de anclajes* (Tesis de Pregrado), Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Rosero, C. (2015). *Análisis y diseño de muros anclados de hormigón armado y su aplicación en la estabilización de excavaciones profundas de subsuelos* (Tesis de Pregrado), Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.

## **IX. ANEXOS**

**Anexo 01**

**Panel fotográfico**

Figura 68: Foto 1.



Fuente: Propia.

Figura 69: Foto 2



Fuente: Propia.

Figura 70: Foto 3.



Fuente: Propia.

Figura 71: Foto 4.

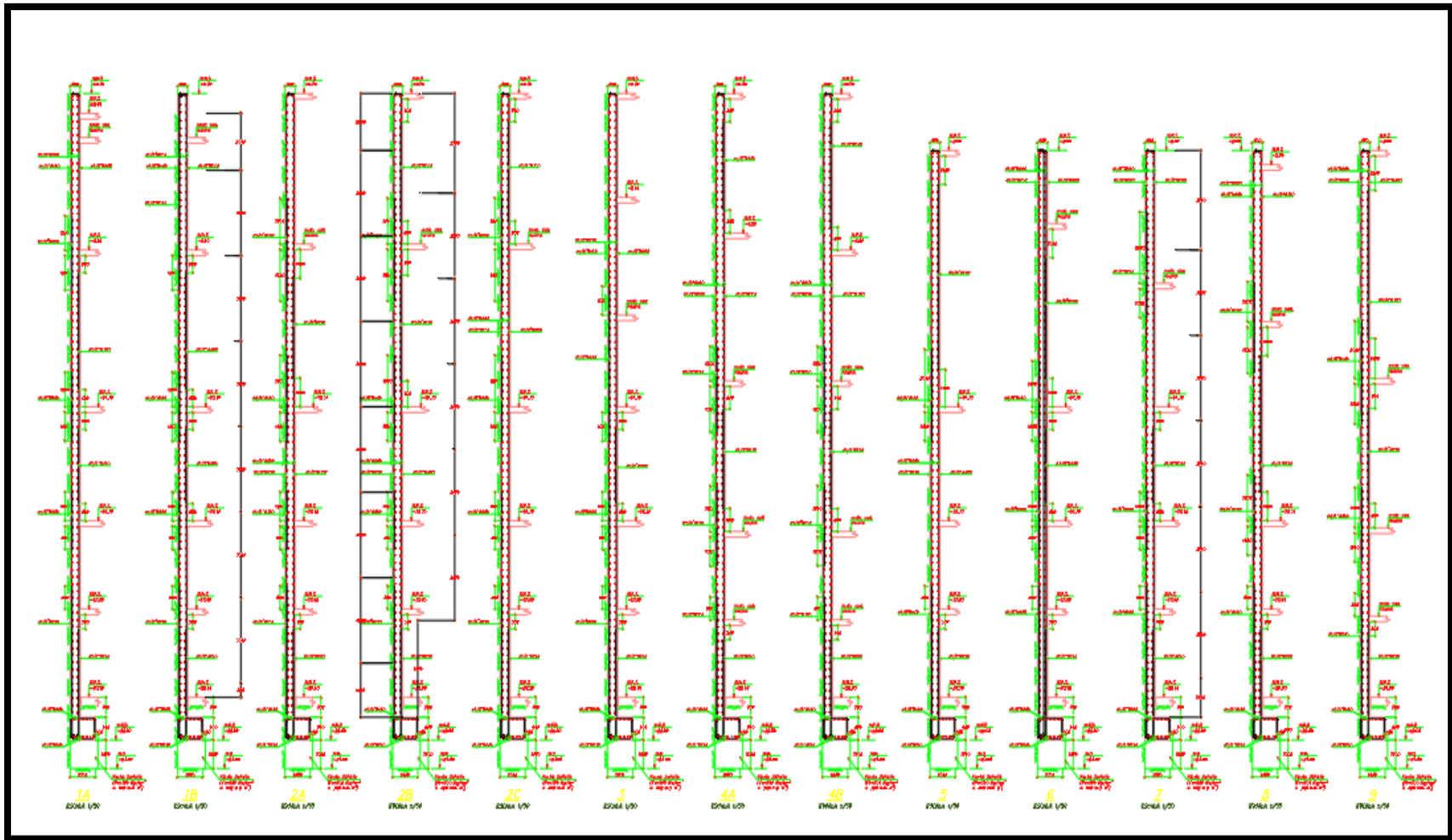


Fuente: Propia.

**Anexo 2:**

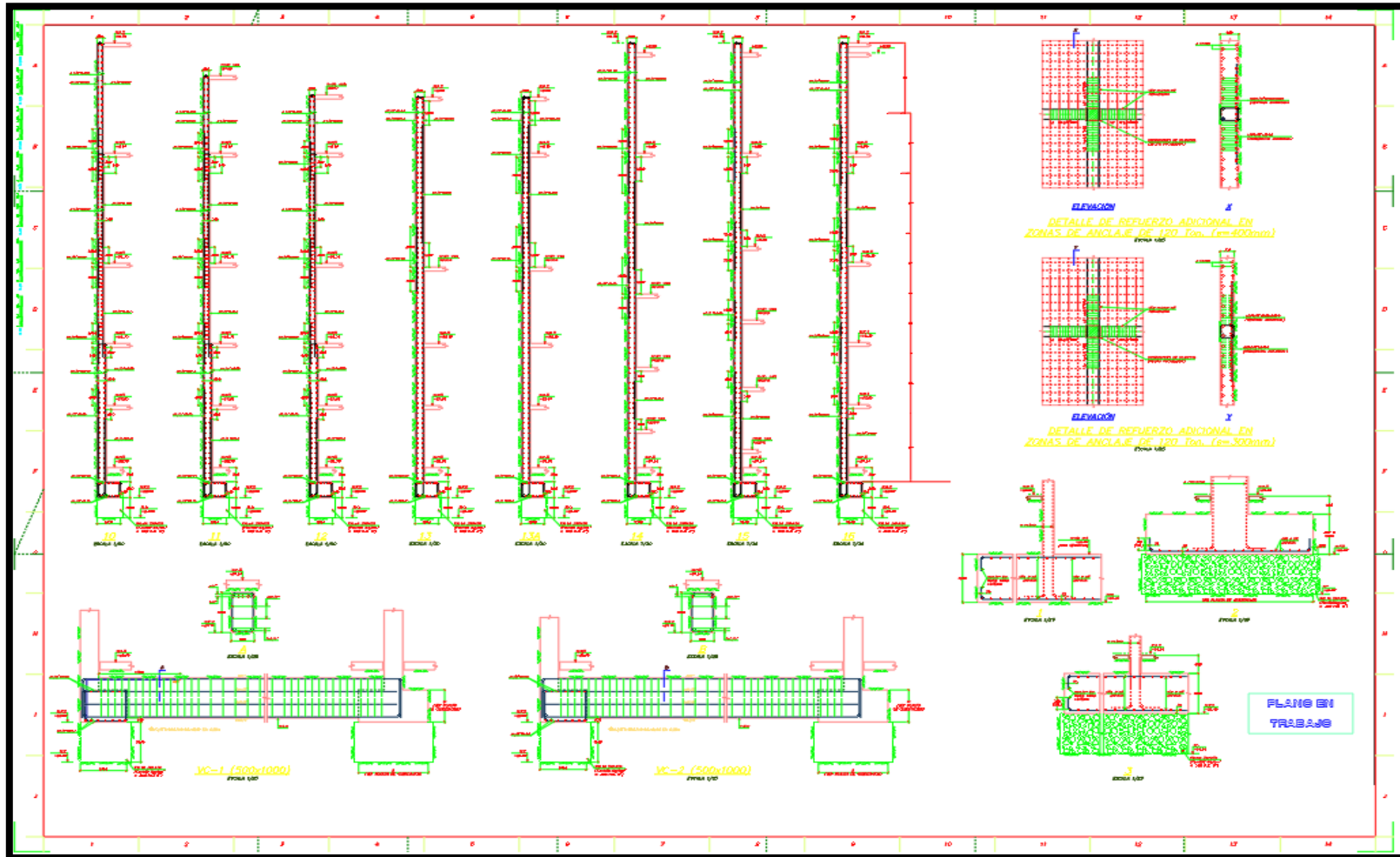
**Planos**

Figura 72: Plano N°1 de corte de muros de sótanos.



Fuente: Strip Centers del Perú S.A.

Figura 73: Plano N°2 de corte de muros de sótanos.



Fuente: Strip Centers del Perú S.A.