

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL  
PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ**

***FIRST RUN STUDY* Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS EN LA  
CONSTRUCCION DE MUROS ANCLADOS**

Tesis para optar el título de ingeniero civil, presentado por:

CARBAJAL GALARZA, GIANCARLO  
BERMUDEZ PALOMINO, DENNIS LENNIN

ASESOR: XAVIER BRIOSO LESCANO

Lima, Agosto del 2017

## RESUMEN

El objetivo de la presente tesis es dar a conocer una propuesta de mejora referente al procedimiento de construcción de muros anclados en el Perú, de manera que se integre la interacción del subcontratista especializado y las cuadrillas del contratista principal.

Para lograrlo se analizó la mano de obra, el uso de las herramientas, equipos y materiales de las cuadrillas utilizando la siguiente metodología de investigación: (1) Uso del método de *First Run Study* analizando a todos los involucrados, (2) Propuesta de un procedimiento constructivo que integre a todos los participantes, (3) Implementación del método propuesto y análisis de mano de obra, materiales, herramientas y equipos usando el método de carta balance, y (4) Obtención de lecciones aprendidas y retroalimentación en el siguiente ciclo de construcción del muro anclado.

Se desarrollaron dos estudios de caso, los proyectos Panorama Plaza negocios de la empresa Graña y Montero, y Real Plaza Salaverry de la empresa COINSA, proyectos diseñados con una gran cantidad de muros anclados, lo que unido a la gran experiencia de ambas empresas, hicieron que estos proyectos sean ideales para el presente trabajo.

Finalmente, los resultados demuestran que se puede optimizar el procedimiento de construcción de muros anclados logrando mejores tiempos de producción, mejor calidad en los productos, menor cantidad de re-trabajos, reducción de trabajos no contributorios, en consecuencia, menores costos.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : "First Run Study y Optimización de Procesos en la Construcción de Muros Anclados"  
Área : Construcción y Gestión - Investigación  
Asesor : Dr. Xavier Brioso Lescano  
Alumno : CARBAJAL GALARZA, GIANCARLO  
Código : 2007.0510.412  
Alumno : BERMUDEZ PALOMINO, DENNIS LENNIN  
Código : 2006.7041.412  
Tema N° : # 282  
Fecha : Lima, 19 de enero de 2017



DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, la construcción es una de las actividades que más dinero mueve en todo el mundo. Sin embargo, también es una de las industrias que más variabilidad tiene. ¿Por qué existe tanta variabilidad en comparación de otras industrias? Esto se debe a que depende de muchos factores, como por ejemplo que no es industrializada ni automatizada, que depende mucho de la curva de aprendizaje de los agentes, a que las cuadrillas del contratista principal y los subcontratistas especializados no están debidamente coordinados, entre otros. Desde hace unos años se vienen aplicando diversas teorías para el mejoramiento de la industria de la construcción, teniendo como objetivos construir más rápido, con mejor calidad y efectuando la menor cantidad de gastos posibles. Estas teorías analizan y evalúan la productividad con la ayuda de diversas herramientas y técnicas, las cuales son aplicadas en la planificación, programación, ejecución y control de obra. Sin embargo, aún existen muchas actividades que no sabemos qué tan eficientes son usando el proceso constructivo tradicional, entre ellas, las tareas del muro anclado. En estas actividades existen interacciones entre subcontratistas especializados y cuadrillas del contratista principal que no aún no han sido analizadas de forma integrada. En este trabajo analizaremos el proceso constructivo tradicional de los muros anclados, incluyendo el análisis de productividad, la comparación de los distintos tipos de encofrados, herramientas y maquinarias utilizadas, y su impacto en la mano de obra. Finalmente se propondrá e implementará acciones de mejora usando las lecciones aprendidas.

OBJETIVO Y ALCANCE

OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de la presente tesis es desarrollar propuestas de mejora del procedimiento de construcción de muros anclados en el Perú, de manera que se integre la interacción del subcontratista especializado y las cuadrillas del



contratista principal. Se pretende desarrollar una base de referencia para proyectos futuros usando las herramientas del First Run Study y Carta Balance.

#### OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Comparar los modelos de encofrados existentes en el mercado.
- Analizar la productividad de los procesos constructivos mediante el empleo de técnicas y/o herramientas.
- Determinar la cuadrilla óptima para el encofrado y evaluar su desempeño en obra con el uso de herramientas de First Run Study y Cartas Balance.
- Identificar las lecciones aprendidas en el proceso constructivo de muros anclados, además de brindar mejoras para la mitigación de estos problemas.
- Optimizar el proceso constructivo a partir de análisis de los problemas típicos en construcción de muros anclados.
- Determinar el costo y tiempo de los procesos constructivos tradicionales y los optimizados mediante la propuesta.
- Determinar la maquinaria pesada adecuada para este tipo de trabajo.

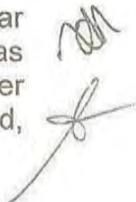
#### ALCANCE Y LIMITACIONES:

En esta tesis se ha analizado la actividad de muros anclados, la cual está conformada por las partidas de excavación, perforación, anclaje, acero estructural, encofrado, concreto y tensado del cable, obteniendo lecciones aprendidas e innovación en la construcción de estos elementos.

En este trabajo no se diseñará sistemas de encofrado, se estudiará los tres modelos que se encuentran disponibles en el mercado de Lima al momento de la investigación. Estas empresas proveedoras tienen sistemas propios recomendados para esta actividad, modelos que son parecidos, tanto en el diseño como en características técnicas, y que se pueden apoyar y fijar en el suelo gravoso del terreno de las obras de estudio.

El muro anclado sólo se puede ejecutar en un buen suelo, el cual es gravoso y presenta gran cantidad de rocas de canto rodado (propio del abanico de Lima), en especial, mientras se va excavando a mayor profundidad, pues se encuentran gravas de mayor tamaño. Esto ocasiona una gran dificultad para el acceso, tanto de personal como de maquinarias, lo cual se complica a profundidades mayores de 15 metros.

Se trabajará los modelos de encofrados para muros de dimensiones estándar especificados en los diseños típicos del subcontratista especializado. Estas dimensiones son de 3.5m x 5.0m. Esto permitirá equilibrar los modelos para poder realizar los comparativos en costos, mano de obra, rendimientos, trabajabilidad, entre otros aspectos



PLAN DE TRABAJO:

La primera parte de este proyecto de investigación desarrollará la introducción, el planteamiento del problema y el marco conceptual, detallando la introducción a las estructuras de sostenimiento de taludes en sótanos, el sistema Last Planner, el First Run Study y las cartas balance.

La segunda parte consistirá en plantear y desarrollar los métodos de sostenimiento de taludes, tales como las calzaduras y muros Anclados. Asimismo, la metodología de investigación, mediante cartas balance, First Run Study, Optimización de Procesos, entre otras herramientas y técnicas.

La tercera parte desarrollará los estudios de caso, resultados y discusiones. Para ello se ejecutará el análisis de cartas balance, análisis de First Run Study, optimización de procesos, elección de encofrado, elección de maquinaria y comparativo económico del procedimiento constructivo tradicional vs. la propuesta optimizada.

La cuarta y última parte permitirá presentar las conclusiones más importantes, las recomendaciones más resaltantes y las aclaraciones pertinentes sobre los temas desarrollados.

VB° .....  
Dr. Rafael Aguilar  
Director de Investigación

NOTA  
Extensión máxima: 100 páginas.


# ÍNDICE

ÍNDICE .....	I
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 2: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
2.1. ANTECEDENTES .....	3
2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	4
2.3 JUSTIFICACIÓN .....	5
2.4 ALCANCES.....	6
2.5. OBJETIVOS.....	8
2.5.1 Objetivo general .....	8
2.5.2 Objetivos Específicos .....	8
CAPÍTULO 3: MARCO CONCEPTUAL.....	9
3.1 INTRODUCCIÓN A LAS ESTRUCTURAS DE SOSTENIMIENTO DE TALUDES EN SÓTANOS.....	9
3.1.1. Muros Anclados.....	10
3.2 SISTEMA LAST PLANNER .....	14
3.3 <i>FIRST RUN STUDY (FRS)</i> .....	18
3.4 CARTAS BALANCE.....	20
CAPÍTULO 4: MUROS ANCLADOS.....	24
4.1. Consideraciones para el diseño .....	24
4.2. Procedimiento Constructivo .....	30
CAPÍTULO 5: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....	40
5.1 OPTIMIZACIÓN DE LA MANO DE OBRA.....	40
5.1.1 Cartas Balance.....	40
5.1.2 First Run Study .....	44

5.2	OPTIMIZACIÓN DE LOS EQUIPOS.....	45
5.2.1	Comparativo de maquinarias.....	45
5.2.2	Comparativo de encofrados.....	49
5.3	OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS .....	52
CAPÍTULO 6: ESTUDIO DE CASO.....		53
6.1.	DESCRIPCIÓN DE PROYECTOS .....	53
CAPÍTULO 7: RESULTADOS Y DISCUSIONES .....		55
7.1.	OPTIMIZACIÓN DE LA MANO DE OBRA: .....	55
7.1.1	ANÁLISIS DE CARTA BALANCE DE CUADRILLAS TRADICIONALES.....	55
7.1.2	ANÁLISIS DE CUADRILLA FIRST RUN STUDY (FRS).....	62
7.2.	OPTIMIZACIÓN DE LOS EQUIPOS.....	65
7.2.1	Elección de Maquinaria .....	65
7.2.2	Elección de Encofrado.....	67
7.3.	OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS .....	68
7.3.1.	Lecciones aprendidas e innovación ( <i>Know how</i> ) .....	68
7.3.2.	Procedimiento Optimizado .....	94
7.3.3.	Comparativo Económico Tradicional VS Optimizado.....	99
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		107
8.1.	CONCLUSIONES.....	107
8.2.	RECOMENDACIONES. ....	110
CAPÍTULO 9: BIBLIOGRAFÍA .....		111

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la construcción es una de las actividades que más dinero genera en el mundo y particularmente en nuestro país sobre todo en los últimos años.<sup>1</sup> Sin embargo, también es una de las industrias que más variabilidad tiene. ¿Por qué existe tanta variabilidad en la industria de la construcción a comparación de otras industrias? Esto se debe a que depende de muchos factores, en muchos casos no es automatizada y depende mucho de la curva de aprendizaje de los agentes que trabajen en este. Además de estos aspectos esta industria trabaja en conjunto con otras industrias, por ejemplo la industria de producción de acero y concreto, las cuales también tienen su oscilación propia y de esta forma aumenta la variabilidad aún más en la construcción.

Debido a la gran variabilidad en la industria de la construcción, hace unos años se está realizando estudios y se están desarrollando diversas propuestas para el mejoramiento de la industria de la construcción, siendo el objetivo construir más rápido, con mejor calidad y efectuando la menor cantidad de gastos posibles. Estos estudios analizan y evalúan la productividad con la ayuda de diversas herramientas; las cuales, son aplicadas en la planificación tanto general como de manera cotidiana. Sin embargo, a pesar de que estas propuestas vienen circulando por nuestro medio, desde hace unos años, aún existen muchas actividades que son desarrolladas empíricamente, dependiendo básicamente de la experiencia que tenga el maestro de obra. Otro aspecto que se recomienda profundizar es la relación entre el mundo de la construcción y el contexto social-económico y las diferentes dinámicas que van teniendo los diferentes aspectos económicos ligados a la construcción.

A parte de ello también hay que tener en cuenta, los acuerdos y el tipo de procedimientos establecidos entre los subcontratistas y cuadrillas del contratista principal lo que no ha sido analizado ni sistematizados lo suficiente y que interviene en mayor o menor grado en algunos sectores, llegando inclusive a convertirse en

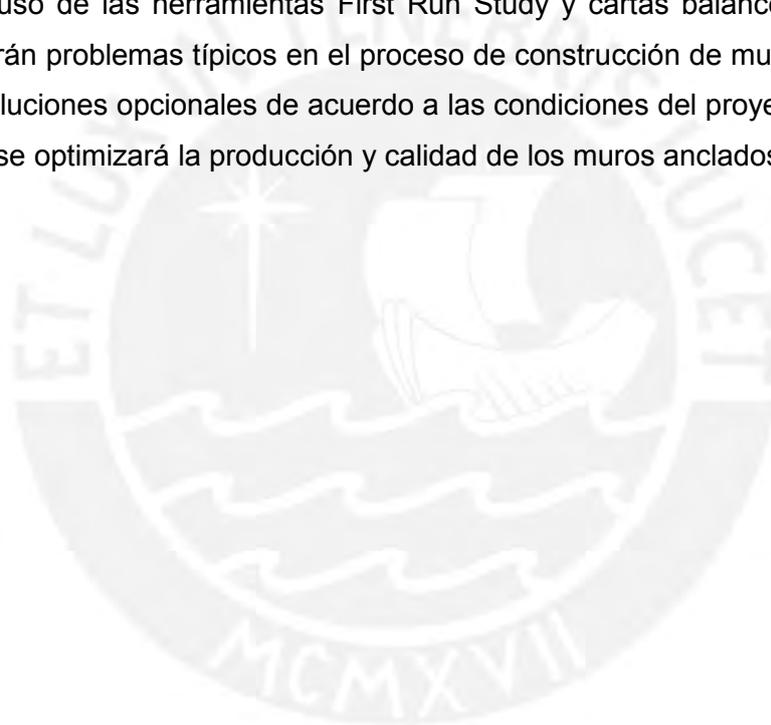
---

<sup>1</sup> En febrero de 2016, la producción del sector Construcción aumentó en 5,37% en comparación con igual mes del año 2015, debido al incremento del consumo interno de cemento (4,52%) y al mayor avance físico de obras públicas (10,15%), en el que destacan las obras de los gobiernos locales (60,86%) y regionales (7,62%); informó el Jefe del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Aníbal Sánchez Aguilar. <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/produccion-del-sector-construccion-crecio-537-en-febrero-de-2016-8983>

presiones por cupos y estableciendo condiciones laborales lo que tiene que ver con el avance y la calidad de las obras.

En esta tesis analizaremos el proceso constructivo con la utilización de muros anclados y el uso de encofrados metálicos. Se va a analizar los problemas encontrados del proceso constructivo tradicional y análisis de productividad; estudiaremos y compararemos también distintos tipos de encofrados y las maquinarias utilizadas en la partida de corte de terreno y los efectos que tiene esto en la calidad final de los muros anclados.

Adicionalmente a estos puntos centrales en la construcción, se verificará el desempeño de una cuadrilla típica de encofrado de muros anclados y se optimizará con el uso de las herramientas First Run Study y cartas balance. Finalmente, se analizarán problemas típicos en el proceso de construcción de muros anclados y se dará soluciones opcionales de acuerdo a las condiciones del proyecto, mediante las cuales se optimizará la producción y calidad de los muros anclados.



## **CAPÍTULO 2: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### 2.1. ANTECEDENTES

En la actualidad, los encofrados utilizados para el proceso de muros anclados son armados basados en un diseño elegido por su funcionalidad, disponibilidad de stock y costo. La empresa de encofrado se encarga de calcular la cantidad de pernos, alineadores, dimensiones de paneles, entre otros accesorios, de acuerdo al stock que tienen en sus almacenes y al modelo elegido. Sin embargo, si bien cada diseño de encofrado permite realizar vaciados de concreto controlando desplomes, alineamientos y acabados, algunos tipos de encofrado no se ajustan a las exigencias de calidad, generando sobrecostos por trabajos rehechos y/o resanes. Debido a algunos problemas que surgen de los encofrados, se evaluará los diferentes tipos de encofrado e indicará las características, y recomendaciones además de los puntos pro y contra de cada tipo.

En el caso de la cuadrilla de encofradores, se suele calcular la cantidad de obreros y sus categorías de acuerdo a experiencias previas. Sin embargo, esto no es necesariamente lo más óptimo, ya que en obra siempre se ve que hay una gran cantidad de trabajos que se tienen que mejorar o ser rehechos. La planificación del tiempo del personal de obra no se ajusta a las actividades que estos realizan dejando espacios vacíos o muertos en los cuales los obreros no realizan ningún trabajo productivo o contributivo, generando pérdidas en tiempo y dinero.

A partir de este problema es que se analizarán datos de trabajos que se realiza en obra para verificar la productividad de la actividad de encofrado de muros anclados utilizando procedimientos actuales. Con estos datos obtenidos de campo se generará una cuadrilla óptima y se evaluará su desempeño en obra. También se analizará problemas que suelen ocurrir en obra y se dará sugerencias para la mitigación de estos.

Las maquinarias usadas para los cortes y perfilados del terreno están sujetas a la disponibilidad de mercado y al criterio o experiencia previa. Pero es necesario un estudio de la capacidad de carga de la maquinaria, confiabilidad y disponibilidad,

dimensiones normales (en reposo) y mientras trabaja (en actividad) así como el tipo de suelo que cortará y al que se desplazará.

Adicionalmente, es indispensable encontrar operadores con amplia experiencia en este tipo de trabajo (corte y perfilado), pues es un trabajo especializado. Estas variables son importantes al momento de la elección de la maquinaria. Además, este análisis nos permitirá optimizar las horas máquina, obteniendo un mejor acabado de corte y perfilado (sin sobre-excavación) y por ende reduciendo los sobrecostos en el vaciado de concreto (control de desperdicio).

Así mismo, se realizará el comparativo técnico - económico de los procesos y/o actividades elegidas. Esto permitirá optar por la mejor opción en la ejecución de las partidas a estudio para no realizar trabajos innecesarios y tomar la decisión de ir realizar menos actividades para llegar a ejecutar una misma tarea o partida.

## 2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El objetivo de toda industria es entregar un producto rápido, con buena calidad y a costo justo; sin embargo, en la construcción eso no es tan fácil de lograr. Tener como objetivo un equilibrio adecuado entre los factores: tiempo, calidad y costo es complicado. Por ello, se debe desarrollar una planificación adecuada y un análisis de las actividades que se van a ejecutar.

En el caso de la actividad de encofrado y desencofrado de muros anclados, se observa que hay 3 puntos principales a investigar y mejorar para un proceso más eficiente. Estos son:

- La conformación de una cuadrilla adecuada,
- Los tipos de encofrados metálicos que se van a utilizar y
- Las maquinarias con las cuales se ejecutará la actividad de corte de terreno.

Con respecto a la cuadrilla adecuada, la conformación y selección de personal para esta actividad es desarrollada muy empíricamente, basándose básicamente en las experiencias previas del maestro de obra para saber qué tipo de personal y ¿cuántos de ellos van a conformar la cuadrilla? Frente a ello se puede realizar un análisis de productividad utilizando la herramienta de cartas balance con las cuales se conformará una cuadrilla complementaria y óptima.

Para mejorar la conformación de las cuadrilla de trabajo se pueden hacer cálculos respecto los rendimientos de una cuadrilla típica (o piloto) en la actividad de encofrado y desencofrado de muros anclados.

Con respecto a los encofrados, existen diversas marcas y diseños de encofrados metálicos que se pueden utilizar para muros. Sin embargo, varios de estos encofrados demuestran generar ciertos problemas en obra, como puede ser pequeños desplomes, cangrejeras o facilidad de armado. Por ello, parte de nuestra tesis es realizar, también, una comparación entre diversos tipos de encofrados metálicos de diferentes marcas y modelos encontrándose los mejores según el tipo de construcción que se plantea - para lo cual se evaluarán diversos criterios especificados antes y posteriormente-.

Con respecto a las maquinarias, éstas son utilizadas para cortar el terreno donde se va a construir un muro. Sin embargo, muchas veces no se utiliza la maquinaria adecuada para esta actividad. Esto a veces genera mayor corte de terreno de lo debido, originando que se tenga que llenar un mayor volumen de concreto que el previsto planificado, generando no solo pérdidas económicas sino también posibles problemas de desplomes de los encofrados, ya que estos estarían soportando mayor empuje de concreto que el de diseño. Por ello, una propuesta de mejora es el estudio del tipo de maquinaria a emplear lo cual es muy importante y significa realizar una comparación entre varios tipos de maquinarias y sus comportamientos mediante diversos criterios explicados posteriormente. De esa manera se puede encontrar la maquinaria más adecuada.

### 2.3 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación es importante, pues aportará a la ingeniería civil avances en cuanto a la tecnología y conocimiento en la construcción, y optimización del recurso humano. Además, permitirá mayores ahorros en costo y tiempo.

El propósito de esta tesis es desarrollar una base de referencia para proyectos futuros usando las herramientas First Run Study y Carta Balance, pues aportará mejoras desde el punto de vista técnico-económico.

Existe una serie de problemas con los procesos constructivos en muros anclados con encofrados de diferentes modelos y características, los cuales generan

pérdidas de tiempo y dinero. Por tal razón, es importante identificar adecuadamente cuales son los problemas que están generando estas pérdidas y buscar soluciones a estas. Esto generará mayores ganancias en tiempo y dinero, además de tener trabajos de mejor calidad. En el caso que se siga utilizando los procedimientos tradicionales, no se estaría aprovechando al máximo el uso de los encofrados, ni los beneficios que el uso de estos nos ofrece.

Algunas de las consecuencias más importantes, si se continua con el uso de los encofrados tal como se viene haciendo y no se mejora ni se modifican las limitaciones señaladas, serán ocasionar problemas en el post-vaciado: cangrejeras, desplomes o pandeos y falta de adherencia del concreto nuevo con el que se encuentra sobre él; en el encofrado: des-alineamiento en los niveles del encofrado, equívoco ajuste de puntales y excesiva mano de obra; en el presupuesto: adición de partidas no previstas, exceso de pago por horas hombre y pago de horas maquina por sobre tiempos; entre otros.

En el Perú, en los últimos años se viene desarrollando mejoras en la construcción con el uso de las herramientas de *Lean Construction*. Esto ha generado una mejora en el orden de procesos reduciendo los costos y tiempos para la ejecución de las obras. Sin embargo, se ha estado dejando de lado mejorar las técnicas del proceso constructivo. Estas mejoras pueden generar impactos beneficios en términos de costo, tiempo y calidad.

En esta tesis se mostrarán las propuestas para la optimización del proceso constructivo de muros anclados; siendo esta una del total de partidas existentes que se podrían mejorar en la construcción de una edificación.

## 2.4 ALCANCES

En la presente tesis se ha analizado la gran utilidad de muros anclados, la cual está conformada por las partidas de encofrado, acero, concreto, excavación, perforación, anclaje y tensado del cable, obteniendo lecciones aprendidas e innovación en la construcción de estos elementos.

El presente estudio analizará los tres modelos de muros que se encontraban disponibles en el mercado de Lima al momento de la investigación. Las empresas proveedoras que han sido evaluadas son: HARSCO, EFCO y DOKA. Éstas tienen

sistemas y modelos propios recomendadas para esta actividad, que eran parecidos, tanto en el diseño como en las características técnicas, por lo que se podía acomodar en las características del suelo gravoso del terreno de las obras de estudio.

El muro anclado se puede ejecutar sobre todo en un buen suelo, el cual es gravoso y presenta gran cantidad de rocas de canto rodado (propio del abanico de Lima en especial) mientras se va excavando a mayor profundidad, se encuentra gravas con mayor tamaño. Esto ocasiona una gran dificultad para el acceso, tanto de personal como de maquinarias, lo cual se complica a profundidades mayores de 15 metros.

Se trabajará los modelos de encofrados para muros de dimensiones estándar especificados en los diseños típicos con las dimensiones de 3.5m x 5.0m. Esto permite conocer de antemano las características de los modelos, hacer los cálculos, equilibrarlos para poder realizar los comparativos en costos, mano de obra, rendimientos, trabajabilidad, entre otros.

Para la elección del tipo de equipo se estudiará las diferentes maquinarias pesadas que ofrece la firma *CATERPILLAR*; las cuales, son más accesibles y comerciales. El estudio nos revelará cuál de los tipos de máquina será la adecuada para el suelo; para los trabajos de construcción de muros, con un buen rendimiento; y verificando la capacidad, eficiencia y dimensiones de estos; con el fin de que no interrumpa el tránsito ni tenga problemas para maniobrar. No se estudiará las excavadoras más apropiadas para excavación masiva, sino para los trabajos de muros anclados.

La excavación del proyecto, por lo mismo que tiene gran área de excavado se presta para poder subcontratar a una empresa disponible en el mercado que se dedique plenamente a este tipo de trabajos y que tenga experiencia en este tipo de actividad. Esto, también, se justifica, pues el trabajo del subcontrato presiona a los otros trabajos de campo poder avanzar según su programación sin tener algún retraso.

El objetivo de esta tesis no es la aplicación del Sistema Last Planner a la construcción del sistema de muros anclados, sino realizar un análisis del proceso constructivo de éste y dar sugerencias para mejorar la productividad y soluciones a problemas típicos de obra relacionados a los muros anclados. En base a esto, se

realizarán análisis de cartas balance y First Run Study para obtener comparativos entre precios, tiempos de ejecución, calidades y procesos constructivos.

## 2.5. OBJETIVOS

### 2.5.1 Objetivo general

Desarrollar propuestas de mejora en el procedimiento de construcción de muros anclados en el Perú, de manera que se tenga una base de referencia y se optimice la interacción del subcontratista especializado y las cuadrillas del contratista principal.

### 2.5.2 Objetivos Específicos

- Comparar diferentes modelos de encofrados existentes en el mercado
- Analizar la productividad de los procesos constructivos mediante el empleo de técnicas y/o herramientas.
- Determinar la conformación de una cuadrilla óptima para el encofrado y evaluación de su desempeño en obra con el uso de herramientas de *First Run Study* y Cartas Balance.
- Identificar y registrar las lecciones aprendidas en el proceso constructivo de muros anclados, además de brindar mejoras para la mitigación de estos problemas.
- Optimizar el proceso constructivo previniendo los problemas típicos de la construcción de muros anclados.
- Determinar el costo y tiempo entre los procesos constructivos tradicionales y optimizados.
- Determinar la maquinaria pesada adecuada para el tipo de trabajo con muros anclados.

## **CAPÍTULO 3: MARCO CONCEPTUAL**

### **3.1 INTRODUCCIÓN A LAS ESTRUCTURAS DE SOSTENIMIENTO DE TALUDES EN SÓTANOS.**

Las estructuras de sostenimiento de taludes en construcción de sótanos se encargan de soportar los empujes laterales producidos por el suelo temporalmente. Este tipo de estructuras son temporales, ya que solo trabajan desde el momento en que se construye hasta que la estructura de sostenimiento sea definitiva (muros de contención y losas de sótano). Una vez terminada la estructura de sostenimiento definitiva se producirá una transferencia de cargas entre suelo - muro, para lo cual el muro tiene que estar diseñado para soportar estas cargas, y entre muro – losa, con lo cual se tendrá un sistema que se encargará de soportar todos los empujes del suelo.

Las funciones principales de estas estructuras de sostenimiento temporales son: prevenir fallas por inestabilidad de taludes, evitar asentamientos excesivos del terreno colindante a la excavación y asegurar la integridad del terreno colindante y obras en él, hasta que el sistema de sostenimiento definitivo entre en funcionamiento. Evitar los asentamientos excesivos de la estructura vecina a la excavación es una de las funciones más importantes de los muros de contención de sótanos ya que estos asentamientos generan muchos daños estructurales y en las instalaciones en la estructura vecina. Para poder evitar estos problemas es necesario saber estimar correctamente los asentamientos que se irán a producir en el terreno vecino. Sin embargo, poder realizar una estimación válida es una tarea difícil de realizar con solo la teoría conocida actualmente, por lo que se hace necesario actualizar conocimiento e información observacional y estadística. Por ello, esta tesis se limita a solo utilizar la grava de Lima como material del cual está conformado los suelos donde se realizó la investigación.

La grava de Lima es un material granular cohesivo rígido, conformado por cantos rodados y rocas grandes empacadas en arenas y algunos casos se tiene presencia de arenas limosas, materiales finos, costras calcíferas, gravas y gravillas compactas y secas (Martínez, 2007).

La grava de Lima realmente no es uniforme, ya que tiene variaciones por ciertas zonas, no es una mala estimación considerarla como un solo tipo de suelo en ciertas zonas de Lima, como por ejemplo: Miraflores, San Isidro, Magdalena del Mar, Pueblo Libre, Breña, Jesús María, Lince, La Victoria, San Luis, San Borja y Surquillo (Martínez, 2007).

Existen muchos tipos de estructuras de sostenimiento temporal que se utilizan en la actualidad, como por ejemplo: pilotes anclados, pilotes tangentes, pilotes secantes, entibaciones, apuntalamientos, tablestacas, muros diafragma, *nailings*, muros anclados, calzaduras, etc. Sin embargo, las más utilizadas en el Perú, actualmente, son los muros anclados y las calzaduras. Esta tesis analiza el sistema de muros anclados, al ser este el sistema más utilizado en la actualidad

Las excavaciones verticales con más de 2 metros de profundidad para llegar a los niveles de sótanos tienen que contar con algún sistema de sostenimiento, salvo que un EMS (Estudio de Mecánica de Suelos) realizado por el profesional responsable determine que no es necesario o dejar un talud adecuado en base al estudio de suelo. Por ello, es responsabilidad del ingeniero constructor elegir el tipo de obra de sostenimiento, diseño y construcción de esta.

### **3.1.1. Muros Anclados**

Los muros anclados (o mal llamados muros pantalla) son estructuras de sostenimiento de taludes, los cuales poseen anclajes mecánicos al terreno que pueden ser temporales o permanentes. Los muros anclados están compuestos principalmente por un muro o placa de concreto armado vaciado *in-situ*, el cual está anclado al suelo con mediante un sistema de anclajes que evita que falle el talud generado por la excavación. Para el caso de sótanos, los anclajes de muros son temporales; esto debido a que durante la etapa de excavación los muros no tienen mayor soporte al empuje del terreno más que el soporte del mismo muro y de los anclajes. Sin embargo, cuando se comienzan a vaciar las losas de piso en sótanos, estas actúan como soporte fijo de los muros, por lo que los anclajes ya no serían necesarios.

El muro de concreto armado funciona a la vez como muros de sótano, siendo estos construidos por anillos de arriba hacia abajo conforme va progresando la excavación. Los anillos, a su vez, se dividen por paños, los cuales se construyen intercaladamente o por dameros.

El sistema de anclajes tiene la función de anclar el muro de sótano en el suelo para soportar empujes de suelo, agua y sobrecargas; y así evitar su falla. Los sistemas de anclajes pueden ser temporales o permanentes, dependiendo de las características del proyecto. Los anclajes son permanentes cuando su tiempo de servicio es más de 2 años. En estos tipos de anclajes la protección anticorrosión es uno de los aspectos fundamentales de diseño, y se realiza tanto para la zona del bulbo y longitud libre, como para la cabeza del anclaje. Además, en ocasiones que el proyecto lo requiera, se pueden utilizar sistemas de re-tensado del anclaje y comprobación periódica de la carga de servicio.

En el caso de los anclajes temporales, usualmente tienen un tiempo de vida menor de 2 años. Adicionalmente, tienen factores de seguridad menores y una protección anticorrosión más sencilla. Los anclajes en sótanos son usualmente temporales, ya que solo funcionan por un pequeño tiempo hasta que la estructura de soporte principal entre en funcionamiento, siendo en este caso los muros y losas de sótano.

Los sistemas de anclajes usan diversos tipos anclajes al terreno, como por ejemplo cables metálicos, barras *Dywidag* y barras *Gewi* (*KELLERTERRA*). En el caso de muros anclados se utilizan, generalmente, cables metálicos y serán, posteriormente, los muros de los sótanos. Tienen el propósito de anclar el muro al suelo. Estos cables son rodeados por una vaina (tubo metálico que se introduce al terreno durante la etapa de perforación), que es la que está en contacto con el suelo.

Entre la vaina, y los cables se inyecta una capa de *grouting* hacia la zona interior de la perforación, formando un bulbo (fig. 3.1) que actúa como ancla del muro y permitiendo un tensado adecuado de los cables.

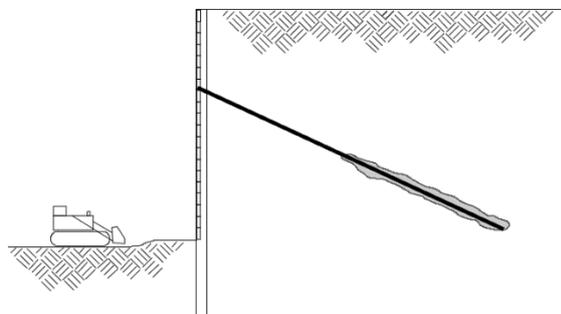


Fig. 3.1 Esquema de muro anclado

Fuente: FHWA, 1999, Ground Anchors and Anchored Systems

Los anclajes se dividen en 3 partes principales:

- Longitud libre,
- Longitud del bulbo y
- La cabeza del anclaje.

La longitud libre es la zona entre el bulbo y la cabeza o placa del anclaje. En esta zona se encuentra la vaina, centradores (garantizan la ubicación de los cables dentro de la vaina, proporcionándole un recubrimiento mínimo de grout) y el tendón (tirantes o cables metálicos). La longitud del bulbo es la zona donde se empotra el tendón y se encuentra en contacto directo con el suelo. La cabeza del anclaje es la conexión entre el tendón y el muro. La cabeza de anclaje está conformada por un placa de apoyo, que se ubica sobre el muro, y una cuña, que permite que el tendón se mantenga tensionado. Ver figura 3.2.

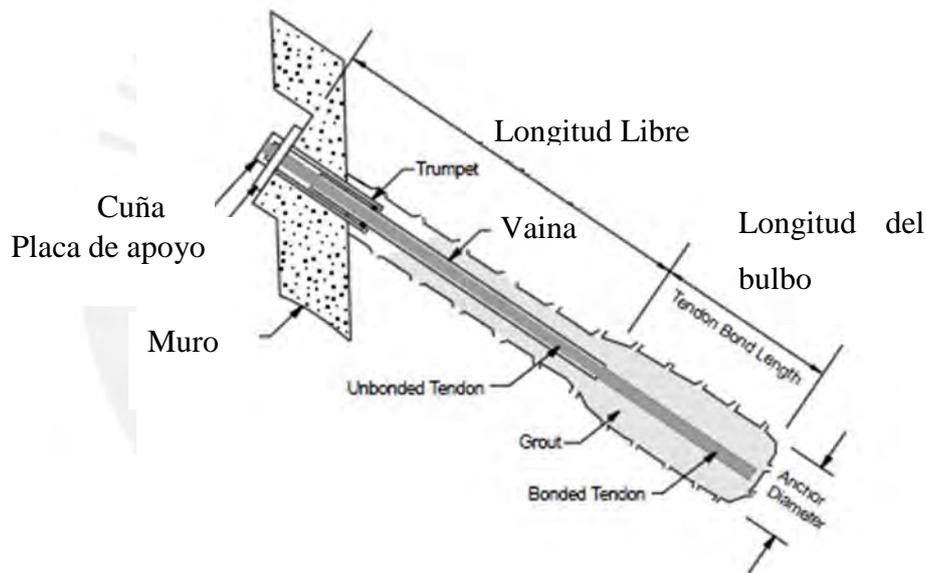


Fig. 3.2. Componentes del anclaje

Fuente: FHWA, 1999, Ground Anchors and Anchored Systems

Para poder diseñar y construir, adecuadamente, un muro anclado se tiene que investigar el lugar de excavación. Teniendo en consideración por lo menos el empuje del suelo, las cargas de edificaciones vecinas, el efecto de variación de la humedad del suelo, las sobrecargas dinámicas producidas por sismos y las vibraciones. A partir de esto es que se puede conocer la viabilidad técnica y económica de la construcción de muros anclados, además del tipo de sistema de anclajes que se utilizará.

El uso de muros anclados en el Perú está aumentando cada vez más, ya que tiene una gran capacidad de resistir grandes presiones horizontales, grandes alturas de tierra y sobrecarga sin aumentar el espesor de estos significativamente. Además, la rapidez en su proceso constructivo y bajos costos a comparación de otros métodos de estabilización de suelos aumentan su popularidad. También, tienen diversas aplicaciones como por ejemplo: estabilización de cortes de taludes en carreteras, estabilización de taludes naturales, compensación de sub-presiones debajo de piscinas, tanques y otras estructuras enterradas, estabilización de presas de concreto, estabilización de taludes de sótano, entre otros.

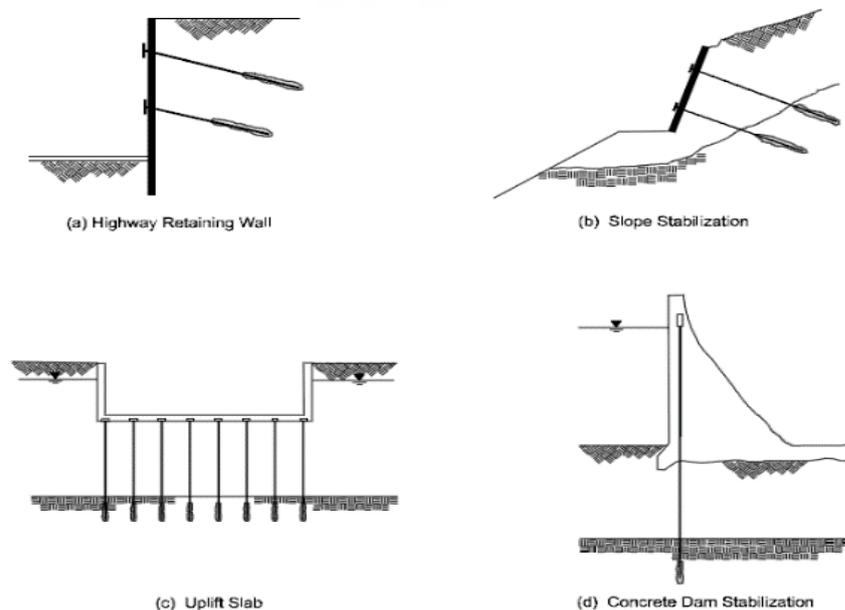


Fig. 3.3 Aplicaciones de muros anclados

Fuente: (FHWA, 1999, *Ground Anchors and Anchored Systems*). Muestra también el uso de muros anclados en sótanos.

Los muros anclados son muy utilizados en Lima, para la estabilización de taludes de sótano, pues a diferencia de las calzaduras no presentan grandes problemas de construcción conforme se va excavando a más profundidad. Esto es debido a que no tienen que ingresar al terreno vecino y construir una estructura en este, solo se debe perforar la zona donde se va a introducir los cables para el anclaje de los muros.



Fotografía. 3.1. Aplicaciones de muros anclados  
(Muestra también el uso de muros anclados en sótanos.)

Fuente: (FHWA, 1999, *Ground Anchors and Anchored Systems*)

### 3.2 SISTEMA LAST PLANNER

Sistema desarrollado por Glenn Ballard (2000) en su tesis doctoral "*The last planner system of production control*", como adaptación de la filosofía Lean Construction.

Antes de poder entender el sistema *Last Planner*, la filosofía del lean construcción y poder utilizar las herramientas que lo conforman adecuadamente se necesita conocer una serie de conceptos básicos, los cuales se presentan a continuación:

- **Productividad:** es el resultado de la división entre los recursos utilizados para realizar un proceso y la producción.
- **Planificación:** es la actividad de plantear las estrategias de producción que se utilizarán para realizar un proyecto determinado.
- **Flujo de trabajo:** es el movimiento de materiales e información a través del tiempo y el espacio.
- **Variabilidad:** es la ocurrencia de eventos distintos a los planificados por efectos internos o externos al sistema. Está presente en todos los proyectos y se incrementa con la complejidad y velocidad de estos. Es la principal fuente de pérdidas en la construcción.
- **Pérdidas:** son las actividades que tienen un costo, sin embargo, no representan un valor agregado para el producto final respecto del cliente.

- **Tipos de trabajo:**
  - Trabajo Productivo (TP): es todo tipo de actividad que agrega de forma directa un valor agregado al producto final. (como asentar ladrillos, vaciar concreto, etc.)
  - Trabajo Contributorio (TC): es un trabajo de apoyo que no representa un valor agregado de forma directa al producto final, sin embargo, es una actividad necesaria para el desarrollo de esta. (Ejemplo: transportes, limpieza, etc.)
  - Trabajo No Contributorio (TNC): es toda actividad que no genera valor alguno al producto final y es clasificada como pérdida. (Ejemplo: trabajos rehechos, corrección de fallas, etc.)
- **Rendimiento:** es el recurso utilizado para realizar cierta actividad por unidad de producción (Ejemplo: HH/m<sup>2</sup>, HH/m<sup>3</sup>, etc.).

*El Lean Construction o construcción sin pérdidas* es una teoría que se enfoca en que el manejo operacional de un proyecto esté dirigido a la mitigación y posible eliminación de pérdidas durante la construcción (Brioso 2015 a). Es compatible con cualquier sistema de gestión de proyectos (Brioso 2015 b).

Otro punto fundamental en la Filosofía Lean Construction es el manejo del modelo de flujos. A diferencia del modelo clásico o modelo de conversión en el cual se prioriza la transformación *de inputs en outputs*, el modelo de flujos busca mejorar tanto los procesos como la transición que se da entre proceso y proceso (flujo). Esto es derivado de la aplicación de las nuevas tendencias de producción manufacturera aplicadas a la construcción, como explica el autor Lauri Koskela (1992) en su reporte "*Application of the new production philosophy to construction*".

La teoría de *Last Planner* se basa en el logro de lo que queremos realizar sea lo mismo a lo que podemos hacer. Para ello se trabaja directamente con el último planificador, quien es la persona o grupo de personas que asignan directamente las labores diarias a los trabajadores. Esta teoría es sinérgica con los sistemas de gestión de proyectos (Brioso 2017) y se basa en una planificación a corto plazo y a gran detalle, con el propósito de poder asignar tareas que tengamos la seguridad que se puedan cumplir tal como las estamos planteando (Ballard 2000; Brioso 2011). Para poder realizar esto, la teoría de *Last Planner* utiliza una serie de herramientas que se explica a continuación:

- **Planificación Maestra (*Master Schedule*)**

La planificación maestra es la planificación general del proyecto, elaborada antes del inicio de la construcción y abarca la planificación desde inicio de obra hasta el final de esta. Se recomienda que la planificación maestra *no sea muy detallada*, ya que esta solo representa una estimación de los tiempos de construcción. Las estimaciones para tiempos largos tienden a ser erradas debido a la gran variabilidad que se presenta durante la construcción y realizar una planificación detallada no soluciona el problema. Por ello es preferible que estas no sean detalladas ampliamente, sino que presenten hitos con tiempos tentativos de inicio y fin de alguna actividad importante, como por ejemplo inicio y fin de excavaciones, entrega de anillos de sótano, inicio y fin de construcción de cimientos, etc.

- **Look Ahead Planning**

El Look Ahead Planning es una planificación que se desarrolla a mediano plazo (entre la planificación maestra y la planificación semanal). Esta está basada en la planificación maestra pero con un mayor nivel de detalle de las actividades. El propósito del Look Ahead Planning es controlar la asignación de mano de obra, materiales, equipos, información y dinero, de tal forma que la planificación semanal se realice en función a actividades posibles y con confianza que nuestro avance de obra se realice tal y como lo esperamos. Esta herramienta usualmente se realiza para periodos de 3 a 5 semanas.

- **Análisis de restricciones**

En el análisis de restricciones se identifica y prevé con anticipación los recursos necesarios para poder realizar las actividades especificadas en el *Look Ahead Planning* (. Para una adecuada clasificación de restricciones en el look ahead, se puede utilizar la clasificación propuesta por el autor Serpell (2002):

1. Ineficiencias en la administración: En el caso de manejar un número inadecuado de obreros.
2. Métodos inadecuados de trabajos.
  - Falta de equipos
  - Metodología errada
  - Poca experiencia de parte del personal.
  - Falta de comunicación.
3. Grupos y actividades deficientes
  - Bajo rendimiento.
  - Mala planificación de equipos

4. Problemas de seguridad y recursos humanos.
5. Inapropiados sistemas de control.
6. Problemas de diseño y planificación.

- **Planificación semanal**

La planificación semanal es la planificación que se desarrolla a corto plazo, en la cual se muestran todas las actividades a realizar durante la semana, que aparecen en el Look Ahead Planning, y sin ningún tipo de restricción.

- **Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) y causas de incumplimiento**

El porcentaje de plan cumplido es el cociente del total de tareas realizadas entre tareas planificadas durante una semana. Este índice permite medir la efectividad y confiabilidad de las programaciones semanales. En el caso en que no se cumpla con el 100% de las actividades planificadas se identifica las causas de incumplimiento y se toma acción para la posible eliminación de estas para labores futuras. De esta forma se evita cometer los mismos errores y se mejora la calidad del sistema de programación.

- **Curvas de productividad**

Las curvas de productividad son una herramienta de control que permiten ver el avance diario de cada partida y evaluar el rendimiento y/o velocidad de esta.

En el cuadro de Productividad se tiene:

- la curva de productividad diaria real,
- la curva de productividad de presupuesto o planificada,
- y la curva de productividad acumulada.

A partir de estas curvas se puede evaluar qué tan precisos son los rendimientos que estimamos al inicio del proyecto.

- **Nivel general de actividades**

El nivel general de actividades es una técnica de muestreo estadístico que te muestra una imagen congelada de algún momento en el tiempo durante la construcción. En esta imagen se muestra los tipos de trabajos que se están desarrollando y su clasificación como trabajos productivos (TP), trabajos contributivos (TC) y trabajos no contributivos (TNC). Esta técnica de muestreo es aplicable a nivel de toda la obra o por frentes.

### **3.3 FIRST RUN STUDY (FRS)**

La mejora continua es uno de los puntos principales de la filosofía Lean Construction. En este se indica que cada vez que se realizan varias actividades, mediante análisis se puede obtener datos para la mejora de trabajos a futuro. Esto nos permitirá optimizar recursos y generar una mayor producción. Sin embargo, esto funciona solo cuando ya hemos realizado repetidas veces el mismo trabajo, de tal forma que aprovechamos la data obtenida de estos, pero no cuando vamos a realizar un trabajo por primera vez. En estos casos es de utilidad la herramienta First Run Study, la cual nos permitirá realizar una simulación del trabajo a realizar a futuro a una menor escala.

First Run Study es una herramienta para mejora de procesos, basada en la metodología del ciclo de Demming (PDCA: Plan, Do, Check, Act). En esta creamos un escenario previo al trabajo real o una primera corrida, en el cual evaluaremos una actividad en específico a la cual se le aplicará factores ambientales similares a los que se tendrán en el trabajo real, de tal forma de poder obtener información del desempeño de esta actividad. A partir de esta información se puede evaluar mejoras en temas de producción, seguridad, calidad, costos estimados, tiempos, etc de dicha actividad. Para lograr estos objetivos, se tiene que seguir un procedimiento de planificación de la actividad, ejecución de la actividad, evaluación de la actividad realizada, mejora de la actividad para trabajos futuros.

Según los autores Glenn Ballard y Greg Howell en su paper "Implementing Lean Construction: Improving Downstream Performance", podemos tomar de referencia los siguientes pasos:

#### **PLANIFICAR**

- 1) Seleccionar la actividad a estudiar.
- 2) Antes de la primera corrida de cada actividad, reunir a todos los involucrados.
- 3) Realizar un cuadro de barras de las etapas de la actividad.
- 4) Realizar una lluvia de ideas de como eliminar, reducir o traslapar etapas de la actividad.
- 5) Revisar el diseño de las actividades por temas de seguridad; anticipar accidentes o incidentes y especificar métodos de prevención.

- 6) De experiencias pasadas, listar errores probables y especificar métodos de prevención.
- 7) Asignar mano de obra calificada, herramientas y equipos en óptimas condiciones.

#### HACER

- 8) Probar las ideas en la primera corrida ejecutando la actividad de acuerdo a lo planificado.

#### REVISAR

- 9) Describir y medir lo ocurrido:
  - Etapas de la actividad, secuenciamiento y duración de las actividades.
  - Errores, omisiones y re-trabajos.
  - Accidentes, incidentes y riesgos de seguridad.
  - Recursos utilizados (Mano de Obra, herramientas, equipos, etc)
  - Resultados

#### ACTUAR

- 10) Reunir al equipo, incluyendo a los trabajadores que realizaron el trabajo. Revisar los resultados y compartir ideas.
- 11) Dar a conocer la actividad optimizada y su desempeño, estableciéndolo como un estándar para cumplir o mejorar.
- 12) Ejecutar la actividad optimizada.

Como resultado de realizar los pasos de la herramienta First Run Study deberíamos obtener unas mejoras significativas en la productividad de la actividad evaluada.

Adicionalmente, se deberían observar los siguientes beneficios:

- Mejora en la identificación de riesgos de seguridad.
- Mejora en cantidad de inventario de materiales y lugares de almacenamiento.
- Identificación de requerimiento de mejores o más apropiadas herramientas o equipos.
- Optimización del dimensionamiento de cuadrillas y reducir perdidas por esperas.
- Aumento en la moral y satisfacción laboral.
- Mejora en calidad por eliminar trabajos re-hechos por errores.
- Reducir los tiempos de trabajos.

La intención es de planificar a fondo y estudiar las primeras corridas de actividades importantes, utilizando estudios pasados como línea base y produciendo métodos de trabajos estandarizados para beneficio de un proyecto.

La herramienta First Run Study puede contribuir sustancialmente a la innovación en los procesos constructivos, pudiendo reducir los riesgos que puede implicar el innovar y percibir todos los beneficios que esto puede generar. Esto permitirá que siempre se estén creando nuevos procesos constructivos optimizados, nuevas tecnologías y herramientas, nuevos dimensionamientos de cuadrillas, etc; lo cual, generará ahorros en costos, reducción de errores y accidentes.

### 3.4 CARTAS BALANCE

La carta balance es una herramienta para medición de productividad de trabajo en campo de una partida en específico. Esta consiste en anotar a detalle el tipo de trabajo o actividad está realizando cada trabajador de una determinada cuadrilla cada cierto intervalo de tiempo (Oglesby et al. 1989, Brioso 2015 c).

A partir de estas mediciones se puede verificar la eficiencia de los trabajos de la cuadrilla evaluada, permitiéndonos las falencias y posibles mejoras en la conformación de una cuadrilla en miras a mejoras de productividad. Según *Serpell* (1990), se necesita por lo menos un total de 384 mediciones para que estas sean representativas. Según Oglesby et al. (1989) y Serpell (1993), las actividades que realizan los obreros se pueden categorizar en 3 tipos: Trabajo productivo (TP), trabajo contributorio (TC) y trabajo no contributorio (TNC). Por ejemplo:

Actividad: Vaciado de concreto de losas (Virgilio Ghio, 2001)

- TP: Vaciado del concreto, reglado de concreto, lampeado del concreto.
- TC: Transporte del concreto, viajes de buggys vacíos.
- TNC: Esperas y tiempos muertos.

El uso de carta balance se puede realizar con cualquier tipo de partida. La cantidad de obreros a la cual se le tomará mediciones depende íntegramente de la partida que se va a realizar. Por ejemplo, para la actividad de vaciado de concreto de losas con bomba: se necesita 1 obrero que sostenga la manguera, 1 o 2 lamperos que esparzan el concreto, 1 obrero que vibre el concreto, 1 obrero que reglé el concreto.

Lo mencionado hace un total de 5 obreros, lo cual es un número adecuado para realizar mediciones sin tener mayor problema. Otro detalle a considerar es que en esta actividad casi todos los obreros se concentran en un solo lugar, por lo que no hay mayor problema en ubicar rápidamente a los obreros. Sin embargo, cuando se trabaja con otra actividad, como la de encofrado de muros de concreto, la cuadrilla se tendrá que movilizar de un lugar a otro, lo cual dificultará la toma de medidas. En este caso sería preferible que sean 2 ó 3 personas las que realicen las mediciones, encargándose de seguir al detalle las actividades de cada uno de los miembros de la cuadrilla. Con respecto al tiempo de medición, se debe tomar el mayor tiempo posible para las mediciones de la actividad, siendo preferible que la medición se realice desde el inicio al final de la realización de la partida. Esto se debe a que ciertas partidas de larga duración no se realizan con la misma eficiencia durante toda su ejecución; como por ejemplo la actividad de encofrado y desencofrado, esta empieza con el desencofrado del elemento, luego el transporte y finalmente el encofrado, la mayoría de las pérdidas se producen en los intermedios de estas actividades. Si solo se toma mediciones de la primera etapa (desencofrado) no se tomará una medición que represente realmente lo que está ocurriendo en la obra. A continuación se presenta un ejemplo de carta balance en la tabla a continuación donde se muestra el formato en el cual se toman las mediciones. En el otro cuadro se muestran los gráficos donde se aprecia mejor la distribución del tiempo durante la actividad de picado y resane.

		CARTA BALANCE											
Obra: <b>Salaverry Real Plaza</b>		Fecha: <b>08/01/2013</b>		Actividad: <b>Picado y Resane</b>		Hora de inicio: <b>10:20</b>		Hora de termino: <b>11:20</b>					
Trabajadores involucrados:		Cod Trabajo Productivo			Cod Trabajo Contributorio			Cod Trabajo No Contributorio					
A: Ay	Castro	EN	Picado		23	T	Transporte		40	V	vaje	0	
B: Of	Ayasco	RE	Resane		35	I	Instrucciones		2	O	Tiempo Ocioso	33	
C: Of	Avellaneda				0	M	Mediciones		0	E	Espera	21	
D: Ay	Hector				0	X	Otros TC		86	R	Trabajo rehecho	0	
E:					0				0	D	Descanso	0	
F:					0					B	Necesidades fisiológicas		
G:		Total			58	Total			128	Total			54
H:													
Medicion	A	B	C	D	E	F	G	H	I	OBSERVACIONES			
1	T	T	RE	O									
2	X	X	X	X									
3	O	O	X	T									
4	X	X	O	EN									
5	EN	O	X	RE									
6	EN	O	X	RE									
7	X	O	T	T									
8	RE	RE	X	X									
9	RE	RE	X	O									
10	RE	RE	X	X									
11	T	T	X	RE									
12	T	T	RE	RE									
13	X	X	RE	RE									
14	X	X	X	X									
15	X	X	T	T									
16	RE	X	X	X									
17	RE	X	X	X									
18	RE	X	X	X									
19	RE	X	O	X									
20	O	X	O	RE									
21	O	X	X	O									
22	X	X	X	RE									
23	X	X	X	RE									
24	X	X	O	RE									
25	X	X	X	RE									
26	O	O	RE	RE									
27	RE	I	RE	EN									
28	RE	EN	RE	RE									
29	EN	EN	RE	RE									
30	EN	EN	RE	RE									
31	I	O	O	X									
32	O	O	X	X									
33	X	X	T	T									
34	RE	X	X	X									
35	E	E	O	X									
36	E	E	T	T									
37	E	E	O	O									
38	O	O	O	EN									
39	O	O	X	EN									
40	O	X	EN	EN									
41	O	O	EN	EN									
42	E	E	EN	EN									
43	E	E	X	X									
44	E	E	X	EN									
45	E	E	X	X									
46	E	E	X	O									
47	E	E	EN	X									
48	E	T	EN	X									
49	T	T	EN	X									
50	T	T	X	X									
51	T	T	EN	X									
52	T	T	EN	O									
53	T	T	X	X									
54	T	T	X	X									
55	T	T	X	X									
56	T	T	X	X									
57	T	T	X	X									
58	T	T	X	X									
59	T	T	X	X									
60	T	T	E	E									

Cuadro 3.1 Ejemplo de toma de mediciones para la actividad de picado y resane.

Fuente: Elaboración propia

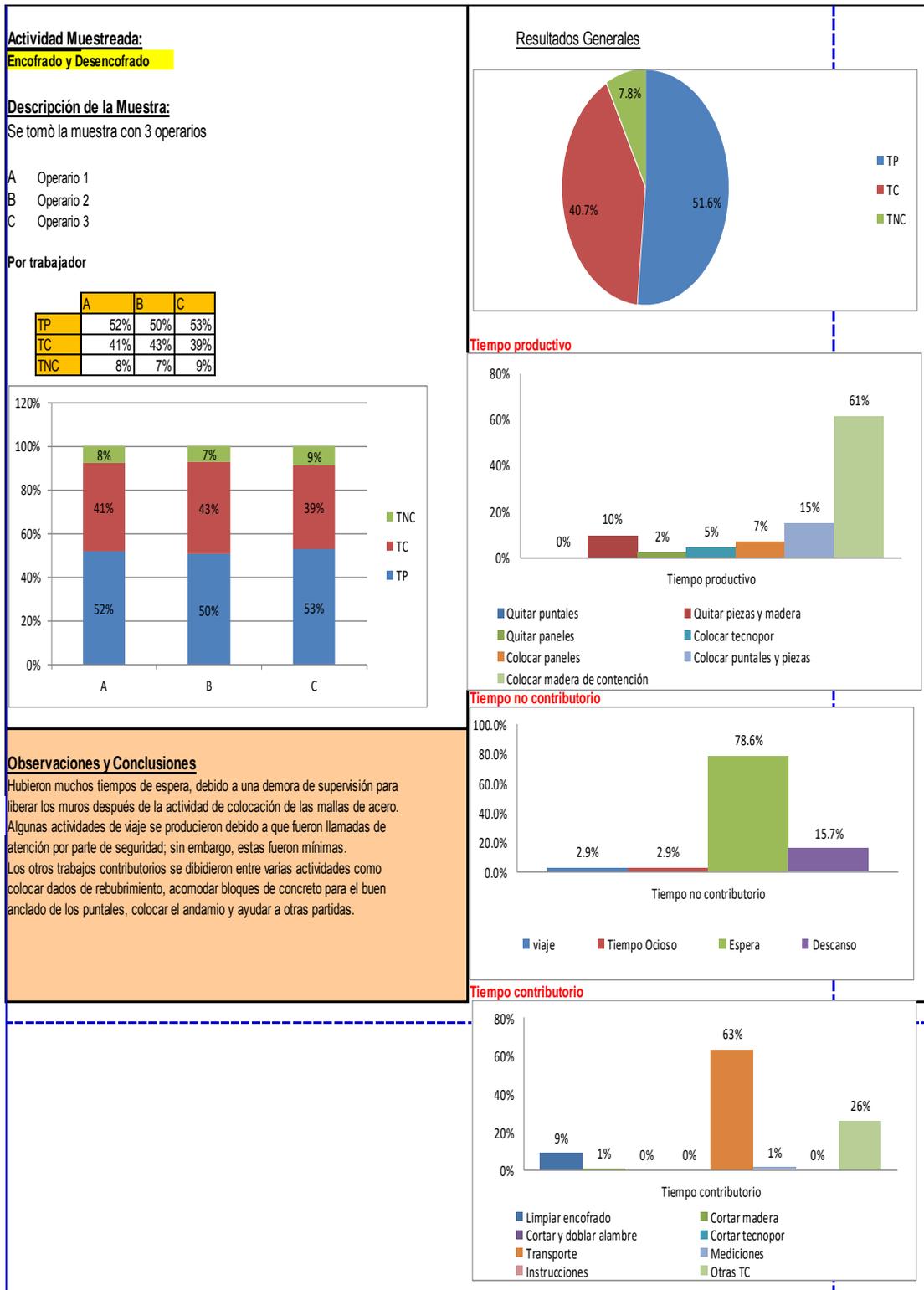


Gráfico. 3.1. Resultados y tiempos de la medición en el picado y resane.

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO 4: MUROS ANCLADOS

En este capítulo se explicará más a detalle el funcionamiento y proceso constructivo de los sistemas de sostenimiento más usado en nuestro país.

### 4.1. Consideraciones para el diseño

En este acápite, no se verá netamente el diseño de muros anclados, ya que esto no se encuentra dentro de los alcances de esta tesis. Solo se verán consideraciones que debería conocer el ingeniero constructor para poder tener una idea de la importancia de algunas de las actividades que se realizan durante el proceso constructivo y poder tener un control adecuado de estas.

Los muros anclados son diseñados para resistir empujes de suelo, agua y sobrecargas. El diseño de muros anclados está dividido en 2 partes, el diseño de muros de sótano como estructuras de concreto armado y el diseño de anclajes, siendo estas 2 partes dependientes una de la otra.

#### 4.1.1. Consideraciones para el diseño de muros de sótano como estructuras de concreto armado

Los muros de sótano son muros de concreto armado vaciado in-situ que tienen como función soportar el empuje del terreno. Los muros se construyen por paños, con excavaciones parciales en la zona de los paños. Estos paños se construyen de manera intercalada, dejando una berma de seguridad en los paños que aún no se está construyendo (fig. 4.1).

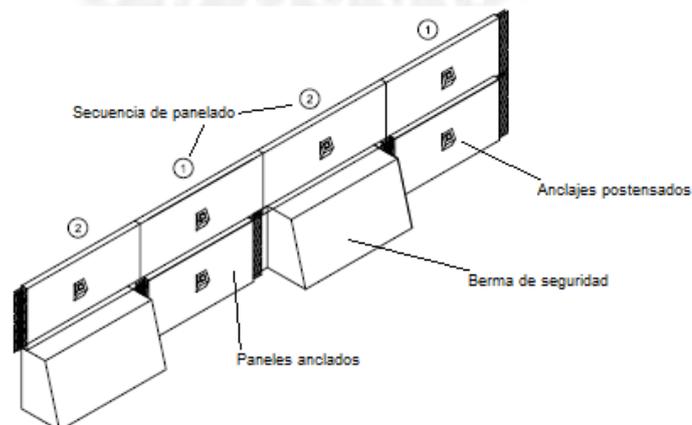


Fig. 4.1 Secuencia de ejecución de muros anclados y Berma de seguridad.

Fuente: *Pilotes Terratest* 2012

Después de encofrar, vaciar y desencofrar estos paños, se procede con el tensado de los muros. Una vez tensados todos los muros del anillo se puede proceder con la excavación para el siguiente anillo. El promedio de tamaño de los muros anclados es de 3 a 3.5 metro de altura y 4.5 a 5 metros de ancho pero esto va estar dependiendo mucho de las características propias del proyecto y del tipo de suelo con el que se está trabajando. En los muros se dejan mechas de acero horizontal y vertical de refuerzo a los lados para que actúen como empalmes con los muros adyacentes, de tal forma que actúen monolíticamente. Al estar todos los empalmes en una misma sección del muro, la longitud de esas mechas puede ser bastante generosa, dependiendo netamente de lo que indique el proyectista. *En el caso del primer anillo, puede ser peligroso usar paños de 5 metros de ancho, pues no se está calzando la cimentación de la estructura vecina; en estos casos es recomendable usar paños de menor ancho (alrededor de 2.5 metros).*

El espesor de los muros puede variar dependiendo de la profundidad y de la fuerza de punzonamiento producido por la placa de anclaje, una vez tensado los cables. Sin embargo, generalmente, no son espesores muy grandes que podrían causar problemas como en el caso de las calzaduras. Algunos espesores recomendables para los muros son 30 cm. hasta 3 sótanos, 40 cm. para 4 sótanos, 45 cm. para 5 ó 6 sótanos y 50 cm. para 7 u 8 sótanos.

El diseño de los muros de concreto armado se realiza en 3 etapas: inicial, intermedia y final. En la etapa inicial se aplica la fuerza de anclaje a los muros que no tienen ningún paño adyacente construido; para poder aplicar esta fuerza el muro de concreto y el *grout* inyectado en la perforación tienen que haber alcanzado una resistencia mínima especificada por el proyectista. La fuerza de anclaje obliga al muro a trabajar como una “zapata flexible”, ya que la distribución de presiones del terreno no son uniformes, sino que se concentran en la zona del anclaje. Por ello, se coloca refuerzo en la cara interior del muro (zona en tracción) considerando que el muro trabaja como si estuviera en *volado*. Además, debe verificarse el punzonamiento generado por las planchas de anclajes sobre el muro, ya que de esto puede depender el espesor del muro.

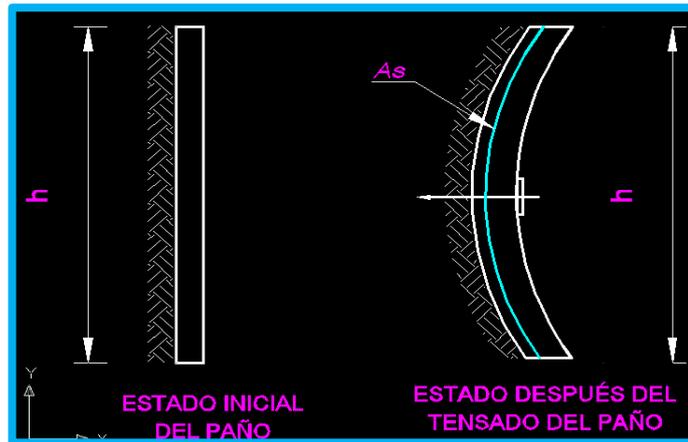


Fig. 4.2 Estado inicial de los paños

Fuente: ABBINGS 2010, Conferencia de muros anclados.



Fotografía. 4.1 Muros del segundo anillo en el estado inicial, mientras los muros del primer anillo se encuentran en el estado intermedio.

Fuente: Elaboración Propia

La *etapa intermedia* es la etapa en la cual se tensa el anclaje de un muro adyacente a un muro ya tensado. En esta etapa la zona intermedia entre anclajes entra en tracción, por lo que es necesario colocar refuerzo en la cara exterior del muro. La *etapa final* es la etapa en la cual se corta la cabeza del anclaje, eliminando la tensión en el tendón y transmitiendo todas las cargas hacia los muros y losas. Esto se da cuando ya se terminó de construir los sótanos, entrando en funcionamiento el sistema de sostenimiento permanente.

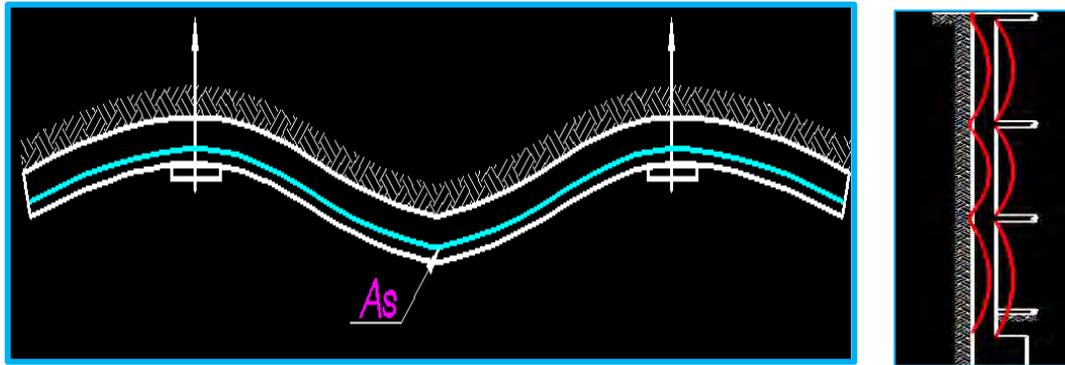


Fig. 4.3 Comportamiento de muros en etapa intermedia (izquierda) y final (derecha).

Fuente: ABBINGS 2010, Conferencia de muros anclados

Debido a los distintos tipos de refuerzo que tienen que haber en los muros y en las distintas zonas que deben estar colocados normalmente se uniformizan el diseño con mallas para la cara en contacto con el suelo y para la cara interior del sótano. Además, se colocan mallas de refuerzo en la zona de anclaje, esto ayuda a controlar el punzonamiento y reducir el acero en la malla de la cara en contacto con el suelo calculado en la etapa inicial.

#### 4.1.2. Consideraciones para el diseño de anclajes

La función del sistema de anclajes de un muro anclado es la de resistir empujes por parte del suelo, agua y sobrecargas. Para poder lograr ello, el bulbo se ancla fuera de la zona activa (ver figura). Esto quiere decir que se tiene que calcular la longitud libre y la longitud del bulbo, de tal forma que este se ubique fuera de la zona potencial de falla del talud de la excavación.

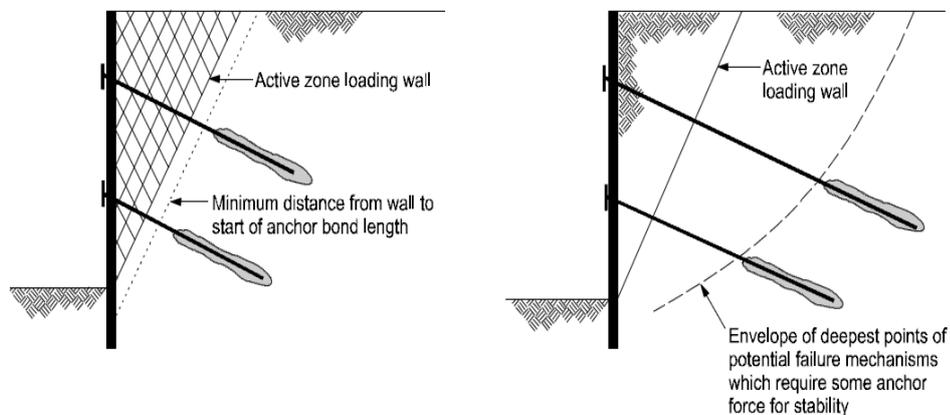


Fig. 4.4 Ubicación de bulbo fuera de la zona potencial de falla del talud

Fuente: FHWA, 1999, GroundAnchors and AnchoredSystems

Se tiene que investigar el lugar donde se planea realizar las excavaciones para los sótanos. A partir de ello, se define la viabilidad técnica y económica de la realización de muros anclados. Afortunadamente, la grava de Lima es un material resistente y homogéneo, por lo que usualmente es una buena opción construir muros anclados. Aun así se tiene que estudiar todas las posibles condiciones de falla que pueden ocurrir en un muro anclado. En la figura se puede observar algunas de las condiciones de falla de muros anclados consideradas por la FHWA (*Federal Highway Administration*).

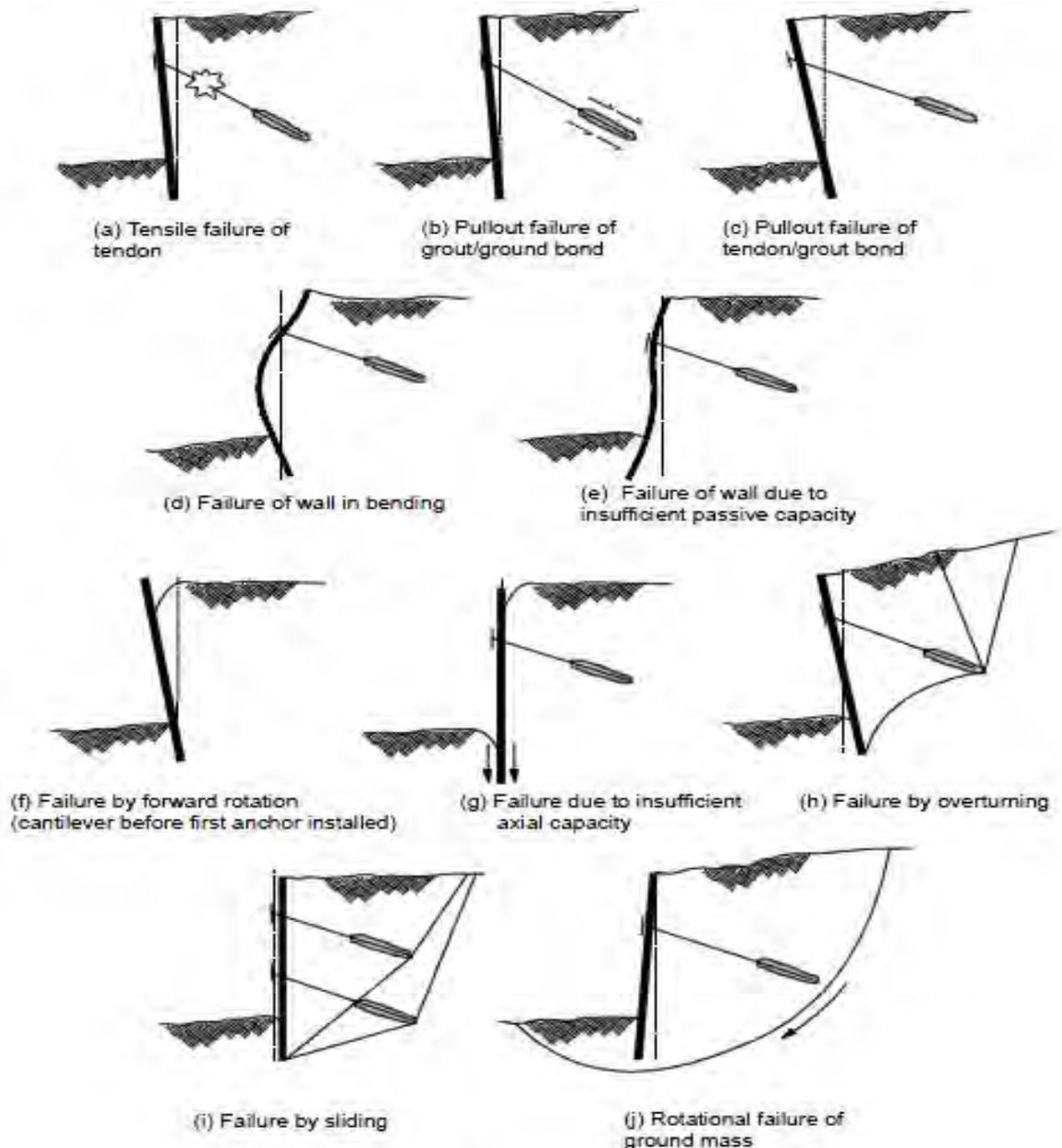


Fig. 4.5 Condiciones de falla de un muro anclado

Fuente: FHWA, 1999, GroundAnchors and AnchoredSystems

Para diseñar adecuadamente los anclajes de un muro pantalla es recomendable seguir la siguiente secuencia:

1. Hallar la ubicación de la superficie potencial de falla, ya que el bulbo del anclaje tiene que encontrarse fuera de esta zona y así poderse anclar en el suelo que no está propenso a una falla.
2. Se debe realizar el cálculo de las cargas de anclaje, la cual se puede calcular mediante diversos métodos, como por ejemplo el método de equilibrio límite. Estos cálculos se pueden realizar mediante el uso de algún software, como por ejemplo el programa *GGU-RETAIN*

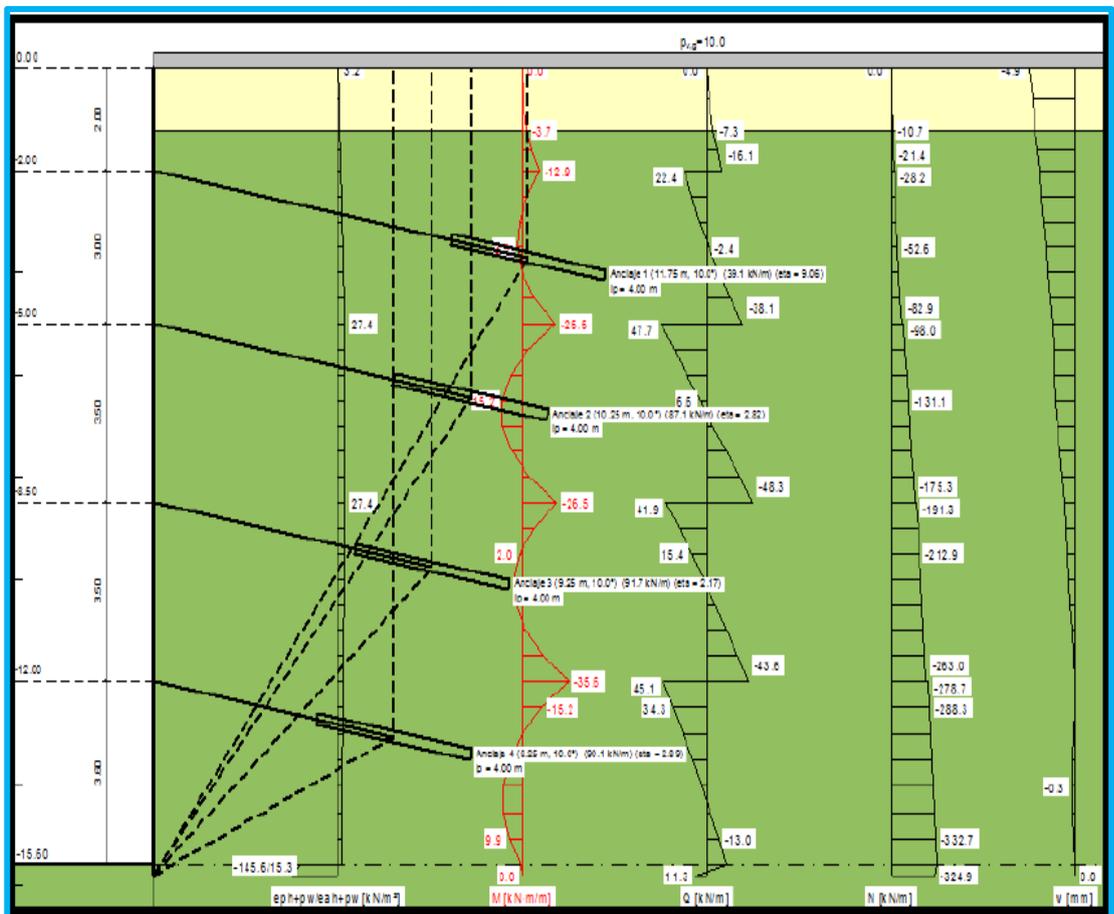


Fig. 4.6 Diseño en el programa GGU-RETAIN del muro anclado mediante el método de equilibrio límite.

Fuente: Pilotes Terratest 2012

3. Diseñar la longitud del anclaje, es decir, la longitud libre y la longitud del bulbo. Esta es una etapa muy importante, ya que, el anclaje es producido principalmente por la capacidad de adherencia grout-suelo, y esta a su vez depende de la longitud anclada.

Los cálculos mencionados se pueden realizar con la teoría *de Kranz*; los cuales, a su vez también se pueden ingresar al programa GGU-RETAIN.

4. Calcular la carga permisible de la tensión del tendón.
5. Calcular el espaciamiento horizontal, vertical y la inclinación de los anclajes. La inclinación de los anclajes usualmente varía entre  $10^\circ$  a  $15^\circ$ , esta depende del grosor del cable, de la longitud libre y anclada, y de la distribución de momentos y fuerzas cortantes. Con respecto a la ubicación del anclaje, se tiene que tener cuidado que los anclajes no se encuentren en zonas de intersección entre muro-losa o intersección muro-columna.

Finalmente, tiene que haber una comunicación constante entre los diseñadores de muros anclados como estructuras de concreto y los diseñadores de los anclajes. Esto es muy importante ya que detalles como la posición de los anclajes, la carga a la cual se van a anclar y la resistencia de los muros en sus diversas etapas puede definir por completo el diseño de estos.

#### **4.2. Proceso constructivo**

La construcción de muros anclados es un proceso secuencial en el cual se construyen anillos de 3 a 3.5 metros de altura y se dividen en paños de 4.5 a 5 metros de ancho, los cuales se irán construyendo siguiendo la secuencia indicada líneas abajo. Además, se dejan bermas de seguridad en la zona de todos los paños y solo se excava la berma cuando se va a construir en el paño en esa posición. Para poder proceder con la construcción de los muros del siguiente anillo se tiene primero que haber construido y tensado todo el primer anillo, después se excavará dejando las bermas de seguridad y se realizará todo el procedimiento de la misma forma.

A continuación se presenta el procedimiento constructivo tradicional de manera detallada. Cabe mencionar que el procedimiento constructivo tradicional, que se explica a continuación, genera ciertos problemas que se explicarán en el punto 7.3.1. Además, en ese mismo capítulo se mencionarán sugerencias y soluciones para estos problemas comúnmente encontrados. Finalmente, en el punto 7.3.2 se presentará un procedimiento constructivo optimizado a partir de las lecciones aprendidas y propuestas de mejora.

1. Se realiza la excavación masiva del primer anillo, dejándose cuidadosamente las bermas de seguridad para la construcción de los muros anclados.



Fotografía 4.2 Excavación masiva del primer y segundo anillo con bermas de seguridad.

Fuente: Elaboración propia

2. Luego, 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 metálicos.



Fotografía 4.3 Perforación, colocado de cables metálicos e inyectados de grout.

Fuente: Elaboración propia

3. Después de haber perforado y colocado los cables metálicos, se procede la inyección de *grout* dentro de la vaina con los cables. Esto generará el bulbo en el extremo de la perforación y un recubrimiento a lo largo de los cables.
4. Se realiza el corte de las bermas de seguridad y el perfilado de estas, de tal forma que se forme la cara del suelo que estará en contacto con el muro. Esta etapa se tiene que realizar con cuidado, ya que esto va a generar variaciones en el ancho del muro, lo cual puede influenciar directamente la resistencia y los costos. El corte se realiza utilizando excavadoras o retro-excavadoras, ya que pueden cortar el suelo rápidamente; mientras que el perfilado se realiza manualmente para dejar un acabado más fino al muro. Luego del perfilado se aplica una mezcla agua-cemento a las caras del suelo para evitar inestabilidades en los pequeños taludes de cada paño.



Fotografía. 4.4. Retroexcavadora cortando las bermas donde se va a construir los muros.

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 4.5. Obreros perfilando manualmente el talud.

Fuente: Elaboración propia

5. Habilitación e instalación de mallas de acero, donde se debe incluir la zona de traslapes. Se excava un poco más en la zona inferior del paño, donde se ubicarán los traslapes inferiores. Estos traslapes inferiores recubren y se vuelven a enterrar, de tal forma que el suelo sirva como encofrado inferior del muro.



Fotografía 4.6 Instalación de mallas de acero en los muros. Se puede apreciar los paneles fenólicos listos para colocar.

Fuente: Elaboración propia

6. Luego se procede con la instalación de los encofrados. Como este procedimiento es estudiado en esta tesis, a continuación, se presenta detalladamente el procedimiento de encofrado de un muro anclado con encofrados metálicos HARSCO:
  - 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 fenólicos del encofrado.



Fotog.4.7 Colocación de tabla de madera apoyo para el encofrado.

Fuente: Elaboración propia.

- Colocación de los paneles fenólicos 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 colocan los puntales que van a servir de soporte al encofrado.



Fotografía. 4.8 Puntales apoyados en los paneles

Fuente: Elaboración Propia



Fotografía 4.9 Puntales apoyados en los bloques de concreto.

Fuente: Elaboración Propia

- Colocación de bloques de concreto que servirán de apoyo a los puntales. Después de colocados los bloques, se procede con enterrarlos para evitar el deslizamiento de los bloques.



Fotografía 4.10 Maquinaria Merlo trasportando bloques de concreto.

Fuente: Elaboración Propia

- Se apoyan los puntales sobre los bloques de concreto enterrados y se ajustan en los paneles.



Fotografía 4.11 Puntales apoyados en bloques de concreto enterrados

Fuente: Elaboración Propia

- Colocación de madera que servirá de encofrado lateral del muro (en el caso que los paños adyacentes aún no estén construidos).
- Colocación del chute para el vaciado del concreto.



Fotografía 4.12 Madera de contención ya colocada. En la parte superior del muro se puede apreciar el chute de madera.

Fuente: Elaboración Propia

En los casos donde existen zonas de intersección entre el muro y vigas (losas y rampas de estacionamiento), se coloca bloques de tecnopor en estas zonas para evitar que ingrese el concreto. Estos bloques de tecnopor se retirarán cuando se proceda con la construcción de las vigas y losas.

7. Vaciado de concreto desde la parte superior del paño utilizando el chute ya colocado en el muro.



Fotografía 4.13 Vaciado del concreto en los muros.

Fuente: Elaboración Propia

8. Después de 24 horas que el concreto se haya vaciado y fraguado, se procede con el procedimiento de desencofrado. Este procedimiento, de la misma forma que el procedimiento de encofrado, se presenta detalladamente a continuación:
  - Desajustar los puntales con los paneles y retirar los puntales.
  - Retirar las piezas que unen los paneles.
  - Retirar la madera lateral (si es que hay).
  - Retirar los paneles.
9. Después del desencofrado de los muros, se procede con el curado de estos y a la limpieza de los encofrados.



Fotografía 4.14 Curado del concreto de los muros

Fuente: Elaboración propia

10. Al adquirir el muro cierta resistencia especificada por el diseñador, se procederá con el tensado de los cables metálicos. Primero se limpian los cables que sobresalen por fuera del muro. Luego, se verifica el ángulo de apoyo de los cables. Después, se instala la placa metálica en el muro. 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.

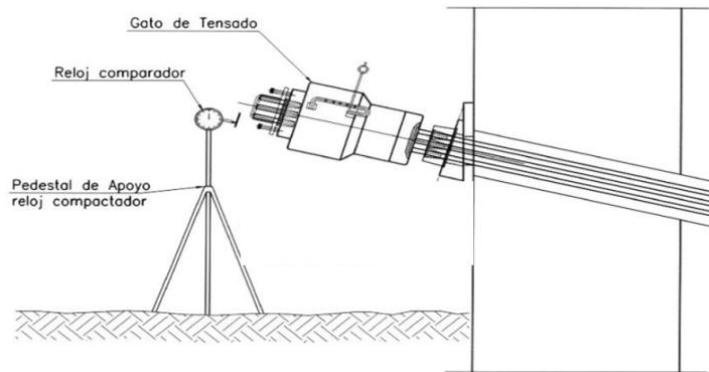


Fig. 4.7 Tensado de los cables metálicos

Fuente: FHWA, 1999, *Ground Anchors and Anchored Systems*



Fotografía 4.15 Tensado de los cables metálicos

Fuente: FHWA, 1999, *Ground Anchors and Anchored Systems*)

Los cables se mantendrán tensionados hasta que se termine de construir el soporte principal de la estructura, que son las losas de sótano. Una vez construidas las losas, *se cortan las cabezas del anclaje para eliminar la tensión* en los cables. Esto se tiene que realizar siempre, ya que en caso que no se corten las cabezas del anclaje y en el terreno contiguo se realicen excavaciones, los cables aún tensionados estos se moverán violentamente mientras pierden la tensión interna que tienen, siendo esto muy peligroso.

Este proceso constructivo realizado para la construcción de un anillo se realiza para los demás anillos de la misma manera.



Fotografía 4.16 Demostración 4 anillos de muros anclados.

Fuente: Elaboración propia

Este proceso descrito presenta la forma como se construye tradicionalmente los muros anclados. Sin embargo, es responsabilidad del ingeniero de campo y del residente de tomar todas las medidas de seguridad necesarias para que se lleve a cabo un trabajo sin problema alguno. Sin embargo, lo que no varía es tener en mente la calidad de los muros y la seguridad de los trabajadores, ya que de esto dependen muchas vidas. Los sistemas de subcontratos a destajo podrían generar un aparente incremento de productividad y altos índices de fallos y desperdicios, enfermedades, y accidentes, entre otros (Brioso 2005 a). Las últimas tendencias apuntan a que los principios generales de prevención deben ser tomados en cuenta por el proyectista. La planificación de la seguridad se debe iniciar desde la concepción del proyecto (Brioso 2005 b; Brioso 2013). Por otro lado, es recomendable relacionar estadísticamente los accidentes, los actos estándar y sub estándar, las condiciones estándar y sub estándar y el trabajo productivo, contributivo y no contributivo. Con el avance de la tecnología ahora es más viable la automatización de los indicadores de construcción (Brioso et al. 2017).

## **CAPÍTULO 5: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

Para la optimización del proceso constructivo es necesario analizarlo por rubros, es decir, se optimizará la mano de obra (MO), los materiales, los equipos y la forma en que se realizan las actividades que conforman el procedimiento constructivo.

### **5.1 OPTIMIZACIÓN DE LA MANO DE OBRA.**

Las herramientas de control y de *Last Planner* permiten tener un seguimiento de las actividades, en este caso de muros anclados, mostrando la eficiencia en los trabajos mediante los índices de cumplimiento. Además, permite identificar si existen altas variabilidades en las actividades o partidas para poder tomar acción, siendo estas de gran incidencia en la ruta crítica y del costo. Una vez identificadas dichas partidas se deberán analizar en búsqueda de la optimización. Unas de las herramientas de análisis son las cartas balance y el First Run Study.

En los siguientes párrafos se mencionará cómo las herramientas de Cartas Balance y First Run Study pueden aportar a optimizar la mano de obra y controlar los rendimientos.

#### **5.1.1 Cartas Balance**

En la actualidad, existen muchas controversias entre saber qué actividad es considerada trabajo productivo, cuál es trabajo contributivo y cuáles son trabajo no contributivo; incluso hay problemas en definir si las partidas son o no trabajo productivo. Esto viene del hecho que la definición indica que un trabajo productivo es aquel trabajo que brinda un valor agregado al resultado final del proyecto. A partir de ello algunas personas indican qué partidas como el encofrado y desencofrado no representan un valor agregado al resultado final, ya que esto no es algo que pueda apreciar directamente el cliente. Sin embargo, esta actividad es netamente necesaria para la construcción, ya que sin encofrados no se puede vaciar, por ende, no se puede construir. Además, esta última actividad tiene un peso importante en el presupuesto de una obra; lo cual, lo diferencia de otras actividades contributivas.

Hay personas que consideran que actividades como las de colocar puntales o desencofrar paneles no le dan un valor agregado al resultado final; sin embargo, estas son absolutamente necesarias para el desarrollo de la partida.

*La división de trabajo productivo, contributorio y no contributorio de las actividades que conforman el proceso de encofrado y desencofrado de muros anclados es lo considerado específicamente por los autores de esta tesis. Esta división puede diferir con otros autores, por ello para el uso de los resultados de las cartas balance realizadas en esta tesis deberán realizar unos pequeños cambios en los formatos para poder obtener los resultados que esperan según la división deseada.*

Las mediciones se desarrollaron desde el inicio hasta el final de la ejecución de la partida de encofrado y desencofrado de muros anclados. Cada cuadrilla de encofradores está conformada por 3 operarios que realizan todas las actividades descritas anteriormente. Se consideró un sistema de trabajo por tarea completada para todas las cuadrillas evaluadas, de tal forma que se tiene una mayor confiabilidad del esfuerzo de la mano de obra para el término de sus actividades en el menor tiempo posible.

Teniendo en cuenta que los encofrados utilizados para esta clase de proyectos se realizan de manera parecida considerando los diferentes tipos de encofrados existentes en el mercado. Por ello, se identificaron distintos trabajos durante la ejecución de los encofrados de los muros anclados que serán colocados en las cartas balance y tendrán un código para la distinción de cada uno de ellos. Esto se debe a que si bien cada tipo de encofrado tiene actividades parecidas, existen ciertas distinciones por el modulado de cada tipo de encofrado, cantidad piezas y maniobrabilidad al momento de trasportar o utilizarse.

A partir de estas consideraciones se optaron las siguientes partidas, agrupadas entre TP, TC y TNC, para la toma de mediciones de cartas balance:

Actividad: Encofrado y Desencofrado de Muros Anclados

- Trabajo Productivo (TP):
  - Retirar puntales
  - Retirar piezas metálicas
  - Retirar madera de contención a los laterales del muro
  - Retirar paneles

- Colocar tecnopor en zonas de encuentro entre muro y losa de sótano
- Colocar paneles fenólicos
- Colocar puntales metálicos
- Colocar piezas metálicas
- Colocar madera de contención
- Trabajo Contributorio (TC):
  - Limpiar encofrado
  - Cortar madera
  - Cortar y doblar alambres
  - Cortar tecnopor
  - Transporte
  - Mediciones
  - Instrucciones
  - Otros TC
- Trabajo No Contributorio (TNC):
  - Viaje
  - Tiempo de ocio
  - Espera
  - Descanso

A continuación se presenta una de las mediciones de carta balance realizada (el total de las mediciones se presentan en los anexos de esta tesis).

Obra: Salaverry Real Plaza  
 Fecha: Día 1 HARSCO cuadrilla 1

Hora de inicio: 08:09  
 Hora de termino: 16:09

Actividad: **Encofrado y Desencofrado**

Trabajadores involucrados: 3	
A: Op	
B: Op	
C: Op	
D:	
E:	
F:	
G:	
H:	

Cod	Trabajo Productivo	
a	Quitar puntales	14
b	Quitar piezas y madera	28
c	Quitar paneles	8
e	Colocar tecnopor	11
f	Colocar paneles	43
g	Colocar puntales y piezas	132
i	Colocar madera de contención	312
	<b>Total</b>	<b>548</b>

Cod	Trabajo Contributorio	
j	Limpiar encofrado	9
l	Cortar madera	31
m	Cortar y doblar alambre	10
n	Cortar tecnopor	0
o	Transporte	290
p	Mediciones	26
q	Instrucciones	0
r	Otras TC	123
	<b>Total</b>	<b>489</b>

Cod	Trabajo No Contributorio	
s	viaje	126
t	Tiempo Ocioso	40
u	Espera	48
v	Descanso	8
	<b>Total</b>	<b>222</b>

Medicion	A	B	C	D	E	F	G	H	I	OBSERVACIONES
1	m	r	a							
2	m	b	a							
3	m	b	a							
4	m	b	a							
5	m	b	a							
6	s	b	a							
7	s	b	o							
8	s	b	b							
9	s	b	b							
10	t	b	t							
11	s	b	a							
12	o	a	a							
13	o	a	a							
14	o	t	a							
15	o	a	o							
16	o	b	o							
17	o	a	o							
18	o	b	o							
19	o	b	o							
20	o	b	o							
21	o	b	o							
22	o	b	o							
23	o	o	o							
24	o	o	r							
25	o	o	o							
26	o	o	o							
27	o	o	o							
28	o	o	o							
29	o	o	o							
30	o	o	o							
31	o	o	o							
32	o	o	o							
33	o	o	o							
34	o	o	o							
35	o	o	o							
36	o	o	o							
37	o	o	o							
38	o	o	o							
39	o	o	o							
40	o	o	o							
41	s	s	s							
42	s	s	s							
43	s	o	u							
44	s	o	o							
45	s	o	o							
46	t	t	t							
47	t	t	s							
48	s	t	s							
49	s	t	s							
50	s	t	t							
51	s	t	t							
52	s	t	t							
53	s	t	b							
54	s	t	c							
55	s	t	c							
56	s	o	b							
57	s	o	c							
58	s	o	b							
59	s	o	b							
60	s	o	b							
61	s	o	o							
62	s	o	o							
63	s	o	o							
64	s	o	o							
65	b	o	o							
66	b	o	o							
67	b	o	o							
68	b	o	o							
69	b	o	o							
70	c	o	o							
71	c	o	o							
72	c	o	o							

Cuadro.5.1 Carta balance para encofrado y desencofrado de muros anclados

Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.2 First Run Study

En esta tesis se aplicará la herramienta First Run Study a la actividad de encofrado y desencofrado de muros anclados, pues es una de las partidas más incidentes o de alta importancia por su costo y tiempo. En esta partida se encuentra la mayor cantidad de horas hombre (HH) consumidas respecto de otras partidas en la construcción de muros anclados.

Esta herramienta se trabajará en conjunto con la herramienta cartas balance, pues aportará información o data tanto en la etapa de planificación como en la etapa de revisión del FRS. Se aplicará la herramienta de la siguiente manera:

#### 1) PLANIFICAR

Se observará los trabajos previamente realizados de encofrado y desencofrado de muros anclados con un procedimiento constructivo tradicional. Mediante la herramienta de cartas balance se observará los rendimientos y se estudiarán los tiempos productivos, contributorios y no contributorios de cada integrante de la cuadrilla, además de cada una de las etapas del procedimiento constructivo. A partir de estos se presentarán ideas de mejora, tanto en la conformación de la cuadrilla como en mejoras al procedimiento constructivo.

#### 2) HACER

Se ejecutará la actividad de acuerdo a lo planificado, considerando todas las ideas de mejora y se observará su desempeño. Se realizará mediciones de rendimiento y se usará la herramienta carta balance para ver la nueva distribución de trabajos productivos, contributorios y no contributorios de la cuadrilla.

#### 3) REVISAR

Se analizará los resultados de obtenidos de la toma de datos con cartas balance y rendimientos, y se evaluará el desempeño de la cuadrilla mejorada. A partir de esto podremos verificar si la hipótesis de idea de mejora es correcta o no.

#### 4) ACTUAR

En caso el análisis de resultados de respuestas favorables, se establecerá un procedimiento optimizado, el cual se pueda establecer como un estándar u objetivo a nuevas evaluaciones de mejora.

## **5.2 OPTIMIZACIÓN DE LOS EQUIPOS**

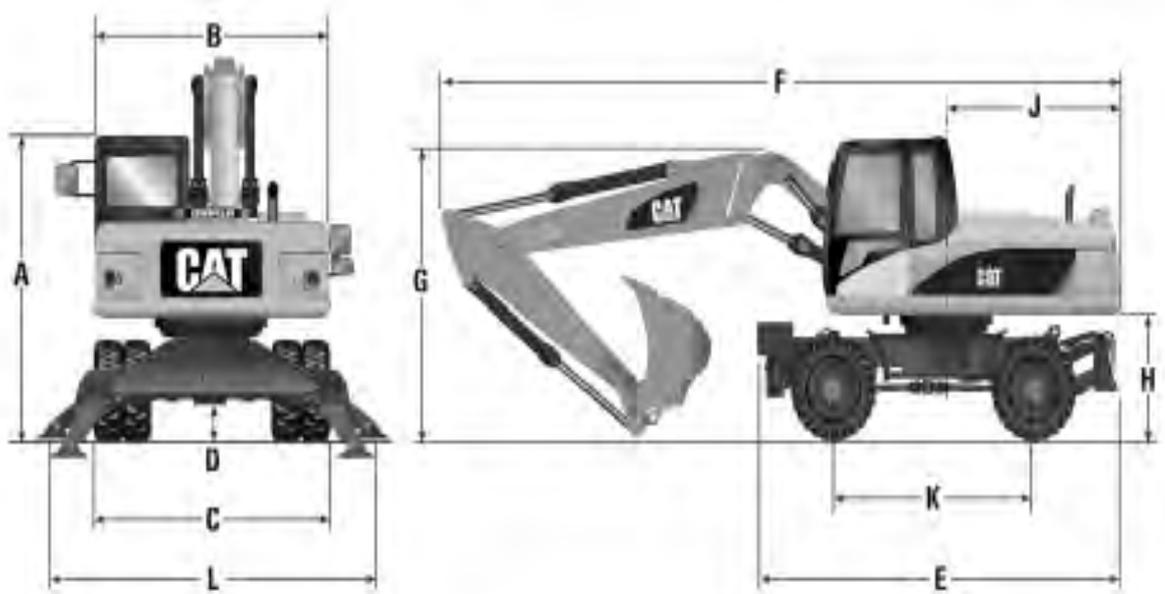
En este acápite se indicará el método que se utilizará para la optimización de los equipos, entre encofrado de muros y maquinarias que se suelen usar en la etapa de excavación y construcción de sótanos.

### **5.2.1 Comparativo de maquinarias**

Las maquinarias pesadas son elegidas cuidadosamente para maximizar el trabajo de acuerdo a las características del mismo y condiciones del medio. En obras con grandes áreas de terreno a construir se pueden utilizar varias máquinas (excavadoras, retroexcavadoras) para diferentes actividades (excavación, corte y perfilado, transporte y otros). Para identificar qué maquinarias son las que se ajustan mejor a las condiciones de trabajo con mayor producción se estudiará las dimensiones, características técnicas, costos y rendimientos de cada una de estas. Las maquinarias a estudiar son: excavadoras, para cortar y perfilar el terreno con gran potencia/capacidad; y retroexcavadoras, equipos especializados en excavaciones localizadas.

Para el estudio de las excavadoras se considerarán los equipos con neumático de caucho y no los que usa cadena o faja metálica (tipo oruga). Esto se debe a las condiciones del terreno, pues permite el tránsito sin complicaciones a pesar de la gran cantidad de rocas de canto rodado existentes de distintas dimensiones. Esta consideración se debe tomar en cuenta proyectos con amplio terreno, como los tomados de referencia para la toma de datos de esta tesis. Sin embargo, para proyectos con dimensiones angostas, si sería necesario excavadoras con fajas tipo oruga, ya que permiten mayor facilidad de traslado por terrenos irregulares a costa de velocidad.

Se escoge comparar entre excavadoras y retroexcavadoras de acuerdo a sus características, capacidades y costo, pues con ambos equipos se pueden realizar este trabajo. Sin embargo, analizaremos los equipos más adecuados para este trabajo.



	M313D		M315D		M316D		M318D		M322D	
	mm	pies	mm	pies	mm	pies	mm	pies	mm	pies
<b>A</b>	3120	10'3"	3150	10'4"	3170	10'5"	3170	10'5"	3200	10'6"
<b>B</b>	2540	8'4"	2540	8'4"	2540	8'4"	2540	8'4"	2670	8'9"
<b>C*</b>	2550	8'4"	2550	8'4"	2550	8'4"	2550	8'4"	2750	9'0"
<b>Ancho de la hoja</b>	2550	8'4"	2550	8'4"	2550	8'4"	2550	8'4"	2750	9'0"
<b>D</b>	370	1'3"	370	1'3"	370	1'3"	370	1'3"	380	1'3"
<b>E<sup>1</sup></b>	4725	15'6"	4775	15'8"	4825	15'10"	4825	15'10"	5025	16'6"
<b>E<sup>2</sup></b>	4965	16'3"	5015	16'5"	4850	15'11"	4860	15'11"	5060	16'7"
<b>E<sup>3</sup></b>	4355	14'3"	4610	15'1"	4330	14'2"	4250	13'11"	4410	14'6"
<b>F</b>	8080	26'6"	8330	27'4"	8400	27'7"	8960	29'5"	9640	31'7"
<b>G</b>	3120	10'3"	3150	10'4"	3170	10'5"	3210	10'6"	3250	10'8"
<b>H</b>	1230	4'0"	1260	4'2"	1280	4'2"	1275	4'2"	1310	4'4"
<b>J</b>	2050	6'9"	2215	7'3"	2280	7'6"	2500	8'2"	2750	9'0"
<b>K</b>	2500	8'2"	2550	8'4"	2600	8'6"	2600	8'6"	2750	9'0"
<b>L</b>	3665	12'0"	3665	12'0"	3675	12'1"	3676	12'1"	3940	12'11"

E<sup>1</sup> Dos juegos de estabilizadores.  
 E<sup>2</sup> Estabilizadores/Hoja topadora.  
 E<sup>3</sup> Hoja topadora solamente.

Cuadro 5.2 Equipos más apropiados para el trabajo según la experiencia aplicada

Fuente: Caterpillar

MODELO	M313D	M315D	M316D	M318D	M322D
Velocidad max. Desplazamiento(km/h)	37.0	34.0	37.0	37.0	25.0
Distancia entre ejes (mm)	2,500.0	2,550.0	2,600.0	2,600.0	2,750.0
Capacidad de llenado de tanque (gal)	62.0	62.0	61.0	102.0	102.0
Capacidad del cucharón colmado (m <sup>3</sup> )	0.18-0.92	0.38-1.26	0.38-1.26	0.38-1.26	0.44-1.57
Potencia en el Volante (kW)	95.0	101.0	118.0	124.0	123.0
Peso en el Orden de Trabajo (kg)	16,200.0	18,300.0	19,800.0	20,100.0	22,500.0
Fuerza de Desprendimiento Frontal (kN)	65.727	77.499	86.328	100.062	115.758
Fuerza de Desprendimiento Lateral (kN)	51.993	57.879	64.746	66.708	81.423
Capacidad del cucharón con brazo de 2.0m (m <sup>3</sup> )*	0.715	-	-	-	-
Capacidad del cucharón con brazo de 2.1m (m <sup>3</sup> )*	-	0.815	-	-	-
Capacidad del cucharón con brazo de 2.1m (m <sup>3</sup> )*	-	-	0.815	-	-
Capacidad del cucharón con brazo de 2.2m (m <sup>3</sup> )*	-	-	-	0.910	-
Capacidad del cucharón con brazo de 2.2m (m <sup>3</sup> )*	-	-	-	-	1.040

Cuadro 5.3 Cuadro Resumen de los tipos de Excavadoras analizadas

Fuente: Elaboración Propia

En el cuadro 5.3 se consideró el brazo más corto de acuerdo al modelo del equipo para que el cucharón pueda tener mayor capacidad, con un alcance máximo de 4.5m con Hoja topadora y estabilizador bajados.

En el análisis para los modelos de retroexcavadoras se tomarán en cuenta la potencia, dimensiones, velocidad, peso, costo y demás. Las retroexcavadoras cuentan con neumáticos de caucho y son adecuadas para transito sobre terreno agreste. Se muestra las imágenes del modelo 416E.

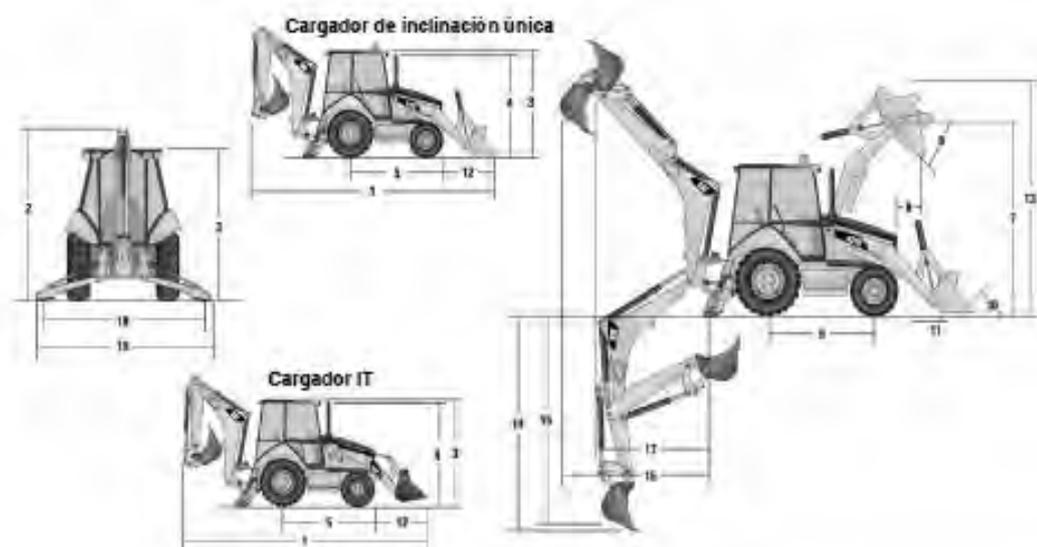


Fig. 5.1. Tipo de Maquinaria apropiada para el tipo de construcción

Fuente: Caterpillar

DIMENSIONES DE LA MÁQUINA	Cargador de inclinación única					
	Uso general 0,96 m <sup>3</sup> (1,25 yd <sup>3</sup> )		Uso general 1,0 m <sup>3</sup> (1,31 yd <sup>3</sup> )		Uso general 1,07 m <sup>3</sup> (1,4 yd <sup>3</sup> )	
1) Longitud total de transporte	7343 mm	24'1"	7311 mm	24'0"	7378 mm	24'2"
Longitud total	7290 mm	23'11"	7245 mm	23'9"	7307 mm	24'0"
2) Altura total de transporte	3577 mm	11'9"	3577 mm	11'9"	3577 mm	11'9"
Anchura total	2438 mm	8'0"	2438 mm	8'0"	2438 mm	8'0"
3) Altura hasta la parte superior del techo/cabina	2819 mm	9'3"	2819 mm	9'3"	2819 mm	9'3"
4) Altura hasta el tubo de escape	2754 mm	9'0"	2754 mm	9'0"	2754 mm	9'0"
Espacio libre sobre el suelo (mínimo)	320 mm	1'1"	320 mm	1'1"	320 mm	1'1"
5) Distancia desde la línea central del eje trasero a la parrilla delantera	2704 mm	8'10"	2704 mm	8'10"	2704 mm	8'10"
Distancia entre las ruedas delanteras	1880 mm	6'2"	1880 mm	6'2"	1880 mm	6'2"
Distancia entre las ruedas traseras	1727 mm	5'8"	1727 mm	5'8"	1727 mm	5'8"
6) Distancia entre ejes (tracc. en 2/4 ruedas)	2200 mm	7'3"	2200 mm	7'3"	2200 mm	7'3"

Cuadro 5.4. Dimensiones de la maquinaria a utilizar

Fuente: Caterpillar

DIMENSIONES Y RENDIMIENTO DEL CUCHARÓN CARGADOR	Cargador de inclinación única					
	Uso general 0,96 m <sup>3</sup> (1,25 yd <sup>3</sup> )		Uso general 1,0 m <sup>3</sup> (1,31 yd <sup>3</sup> )		Uso general 1,07 m <sup>3</sup> (1,4 yd <sup>3</sup> )	
Capacidad nominal (BAE)	0,96 m <sup>3</sup>	1,25 yd <sup>3</sup>	1,0 m <sup>3</sup>	1,31 yd <sup>3</sup>	1,07 m <sup>3</sup>	1,4 yd <sup>3</sup>
Ancho	2262 mm	7'5"	2406 mm	7'11"	2262 mm	7'5"
Capacidad de levantamiento a altura máxima	2929 kg	6457 lb	2937 kg	6475 lb	2868 kg	6323 lb
Fuerza de desprendimiento	45,6 kN	10.242 lb	46,3 kN	10.401 lb	45,1 kN	10.130 lb
7) Altura máxima del pasador de bisagra (Tracción en 2 ruedas)	3296 mm	10'10"	3296 mm	10'10"	3296 mm	10'10"
(Tracción en 4 ruedas)	3368 mm	11'1"	3368 mm	11'1"	3368 mm	11'1"
8) Ángulo de descarga a altura máxima		44°		44°		44°
Altura de descarga a ángulo máximo	2573 mm	8'5"	2604 mm	8'7"	2550 mm	8'4"
9) Alcance de descarga a ángulo máximo	853 mm	2'10"	821 mm	2'8"	819 mm	2'8"
10) Inclinación hacia atrás máxima del cucharón a nivel del suelo		39°		39°		40°
11) Profundidad de excavación	106 mm	4"	106 mm	4"	146 mm	6"
Ángulo máximo de nivelación		107°		108°		108°
Ancho de la cuchilla de explanación		N/A		N/A		N/A
12) Distancia de la parrilla a la cuchilla del cucharón, en posición de acarreo	1516 mm	5'0"	1484 mm	4'10"	1551 mm	5'1"
13) Altura máxima de operación	4196 mm	13'9"	4196 mm	13'9"	4237 mm	13'11"
Apertura máxima de las mandíbulas		N/A		N/A		N/A
Peso (no incluye dientes ni horquillas)	438 kg	967 lb	449 kg	989 lb	459 kg	1012 lb

Cuadro 5.5. Características en la dimensión y rendimiento de cucharón cargador

Fuente: Caterpillar

DIMENSIONES Y RENDIMIENTO DEL CUCHARÓN RETROEXCAVADOR	Brazo estándar		Brazo extensible Retraído		Brazo extensible Extendido	
	14) Profundidad de excavación, SAE (máxima)	4360 mm	14'4"	4402 mm	14'5"	5456 mm
15) Profundidad de excavación, fondo plano de 610 mm (2 pies 0 pulg) Alcance desde la línea central del eje trasero a nivel del suelo	4321 mm	14'2"	4363 mm	14'4"	5420 mm	17'10"
16) Alcance desde el pivote de rotación a nivel del suelo	6721 mm	22'1"	6760 mm	22'2"	7769 mm	25'6"
Altura máxima de operación	5618 mm	18'5"	5657 mm	18'7"	6666 mm	21'10"
Altura de carga	5523 mm	18'1"	5555 mm	18'3"	6302 mm	20'8"
17) Alcance de carga	3636 mm	11'11"	3577 mm	11'9"	4145 mm	13'7"
Arco de rotación	1768 mm	5'10"	1868 mm	6'2"	2771 mm	9'1"
Rotación del cucharón	180°	205°	180°	205°	180°	205°
18) Distancia entre estabilizadores, posición de operación (centro de los tacos)	3310 mm	10'10"	3310 mm	10'10"	3310 mm	10'10"
19) Distancia entre estabilizadores, posición de operación (borde exterior de los tacos)	3770 mm	12'4"	3770 mm	12'4"	3770 mm	12'4"
Distancia entre estabilizadores, posición de transporte	2322 mm	7'7"	2322 mm	7'7"	2322 mm	7'7"
Fuerza de excavación del cucharón	51,8 kN	11.655 lb	51,1 kN	11.491 lb	51,1 kN	11.491 lb
Fuerza de excavación del brazo	31,8 kN	7151 lb	31,8 kN	7151 lb	21,4 kN	5250 lb

Cuadro 5.6 Características referentes a las dimensiones y rendimiento del cucharón retroexcavador

Fuente: Caterpillar

MODELO	416E	420E	422E	428E	430E
Potencia Bruta en el Volante (kW)	58.0	69.0	57.0	69.0	75.0
Peso en el Orden de Trabajo (kg)	6,792.0	7,025.0	7,210.0	7,570.0	7,294.0
Velocidad de Avance Máxima (km/h)	39.9	40.1	40.0	40.0	43.2
Capacidad de llenado de tanque (gal)	144.0	144.0	144.0	144.0	144.0
Capacidad Nominal del Cargador (m <sup>3</sup> )*	0.96	0.96	1.00	1.00	1.00
Capacidad de Levantamiento a Altura Máxima del Cargador (kg)	2,427.0	2,929.0	2,423.0	2,917.0	2,739.0
Fuerza de Desprendimiento del Cargador (kN)	38.100	45.600	39.000	46.300	47.100
Fuerza de Excavación del Cucharón Retroexcavador (kN)	51.800	61.700	52.000	52.000	70.700
Capacidad Nominal de la Retroexcavadora (m <sup>3</sup> )*	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175

Cuadro 5.7 Cuadro Resumen de los tipos de Retroexcavadoras analizada

Fuente: Caterpillar.

## 5.2.2 Comparativo de encofrados

En este acápite se indicará el método que utilizaremos para la optimización de los equipos, específicamente el encofrado. Se evaluaron tres sistemas de encofrados utilizados en Lima durante la elaboración de esta. Las empresas que han sido evaluadas por su diseño son: HARSCO, EFCO y DOKA. Estas tienen sistemas de encofrado cuentan con un diseño similar pero teniendo la misma idea y características. Estos modelos o tipos son: 1) Aplome con puntales, 2) Aplome con

rigidizadores vertical y diagonal, y 3) Aplome con rigidizadores horizontales, verticales y diagonales.

El sistema Aplome con Puntales de HARSCO (Tipo 1) considera el uso de varios puntales y paneles que son retirados después del vaciado. En otras palabras, es un armado y desarmado del encofrado. Aquí, el trasladar de manera manual o con maquinaria los paneles y puntales toma más tiempo en comparación al sistema del Tipo 2. El Tipo 1 es más rígido y pesado; lo cual, es menos probable que ocurra algún desplome o curvatura en el acabado por la distribución de sus puntales, pero genera que los trabajadores se fatiguen.

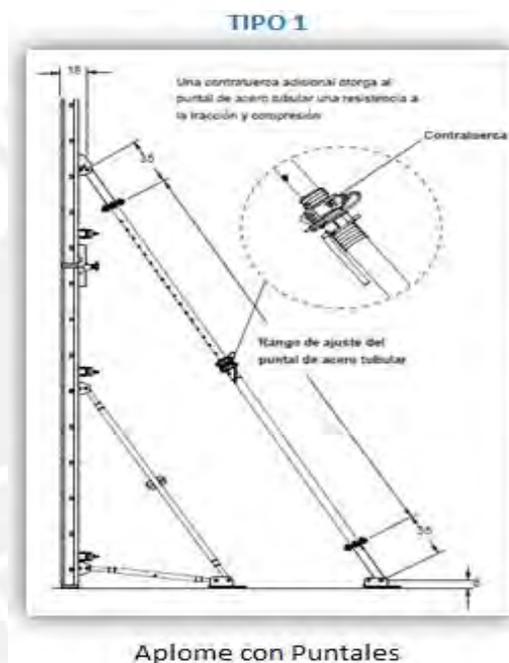
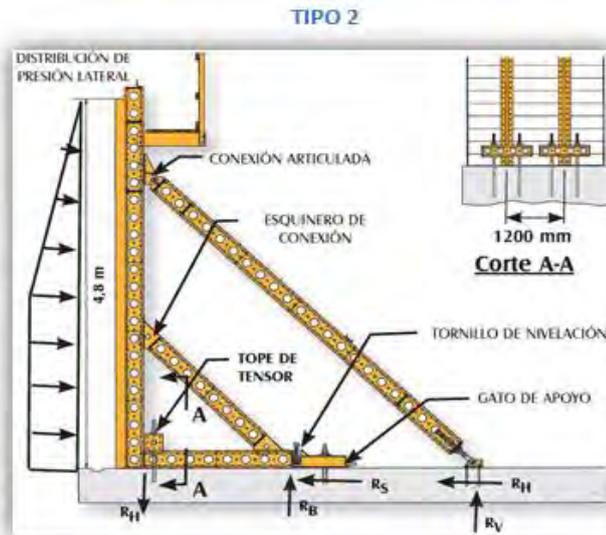


Fig.5.2. Modelo de encofrado tipo 1.

Fuente: HARSCO

En el sistema Aplome con Rigidizadores Vertical y Diagonal de EFCO (Tipo 2) se considerará como uno solo y no requiere el retiro de los paneles pero sí de puntales (en caso haya), pues este es trasladado por una excavadora o torre grúa que contase en la obra. Este sistema es elegido debido a su versatilidad y flexibilidad, y las ahorrar horas hombre, que tomaría desarmar y trasladar dicho encofrado, por las horas máquina (menor costo).



Aplome con Rigidizadores Vertical y Diagonal

Fig.5.3. Modelo de encofrado tipo 2.

Fuente: EFCO

El sistema Aplome con Rigidizadores Horizontales y Verticales con Puntales de DOKA (Tipo 3) se caracteriza por ser un sistema que puede ser transportado con grúa o excavadora como un encofrado pesado o también puede ser armado y desarmado como un encofrado liviano, debido a la facilidad de manipulación de las piezas.



Aplome con Rigidizadores Horizontales y Verticales

Fig.5.4. Modelo de encofrado tipo 3.

Fuente: DOKA

A continuación se mostrará un cuadro con las características de cada tipo de encofrado:

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	
<b>TIPO 1</b>	*Este sistema no requiere grúa, se ensambla manualmente.
	*Las piezas pueden ser manipuladas de manera fácil (buena trabajabilidad).
	*Los paneles son de fenólicos convencionales y requieren cambiarlos cada 6 u 8 usos.
	*Se tiene que usar un desmoldante de buena calidad para no dejar pequeñas burbujas en la superficie del concreto.
	*Se fija los paneles con 12 puntales separados a 1.5m (3 puntales por línea vertical) de acuerdo a los paños de 3.50x5.00m
	*Puede soportar hasta 60kN/m <sup>2</sup> .
	*Debido al peso liviano el costo del flete es bajo.
	*Debido a los distintos puntos de fijación de los puntales, el sistema trabaja evitando desplomes considerables en el acabado.
*Buena cantidad de stock en el mercado.	
<b>TIPO 2</b>	*Este sistema requiere de transporte con una grúa liviana, debido a que el panel son soldados y a su peso.
	*El sistema no puede ser maniobable por su peso y porque moviliza de manera conjunta.
	*Cuenta con una gran cantidad de pernos y complejo armado.
	*La superficie del panel es metálico. Debido a que son unidos a presión y su espesor es delgado la superficie es irregular.
	*Uso de cáncamos o bloques de concreto para fijar la base del sistema.
	*Debido al peso liviano el costo del flete es bajo.
	*Puede soportar hasta 70kN/m <sup>2</sup> .
	*Debido al sistema, los esfuerzos se concentran en la base y no se distribuyen de manera uniforme. La deformación de la cara del acabado de concreto será considerable y notoria.
*Considerable cantidad de stock en el mercado.	
<b>TIPO 3</b>	*Este sistema puede ser transportado con una grúa como de uso manual desarmándolo.
	*Las piezas pueden ser manipuladas de manera fácil (buena trabajabilidad).
	*Los paneles son de fenólicos con una lámina especial y permite usarse de 5 a 6 veces más que los convencionales.
	*La lámina permite disminuir la aparición de las pequeñas burbujas en la cara del concreto.
	*Se usa cualquier tipo de desmoldante obteniendo una buena calidad en el acabado.
	*Debido al peso liviano el costo del flete es bajo.
	*Sistema innovador con alineadores horizontales y verticales, y puntales. Esto hace que los paneles estén sujetos .
	*Bajo stock en el mercado.

Cuadro 5.8: Características referentes e al tipo de encofrado

Fuente: Elaboración propia

### 5.3 OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS

En la optimización de los procedimientos se indicará diversas propuestas de mejora para cada una de las actividades que forman parte del procedimiento constructivo de muros anclados. Estas propuestas de mejora se basan en las lecciones aprendidas de errores cometidos e innovación en el procedimiento constructivo con resultados beneficiosos en términos de mayor calidad, mayor seguridad, mayor producción y menores costos. Estas propuestas de mejora se aplican no solo a la etapa de construcción, sino también a etapas de diseño que podrían mejorar el procedimiento a futuro. Las propuestas de mejoras se explicarán una a una en el capítulo 7.

## CAPÍTULO 6: ESTUDIO DE CASO

### 6.1. DESCRIPCIÓN DE PROYECTOS

El proyecto en el cual se ha realizado la toma de información y datos es el C.C. Real Plaza Salaverry y del proyecto PANORAMA PLAZA NEGOCIOS. El proyecto Real Plaza Salaverry fue construido por la empresa CONSTRUCTORES INTERAMERICANOS S.A. (COINSA) junto con la empresa TERRATEST SA, como subcontratista, para realizar las actividades de perforación y tensado de muros. Se trata de un terreno de 29,006m<sup>2</sup> en los cuales se desarrollara a futuro un centro comercial de más de 180,000 m<sup>2</sup> de área construida. La propuesta plantea la estabilización de taludes mediante la ejecución de 10,130.01m<sup>2</sup> de muro pantalla, dividido en dos frentes Salaverry y Punta del Este. El proyecto tuvo una duración de 8 meses y se realizó alrededor de 500 muros anclados, donde se tensará los 3 primeros anillos y el último, según estudios de geotécnicos, no llevará anclaje.

El tren de trabajo de las actividades que se desarrollan en la obra es:

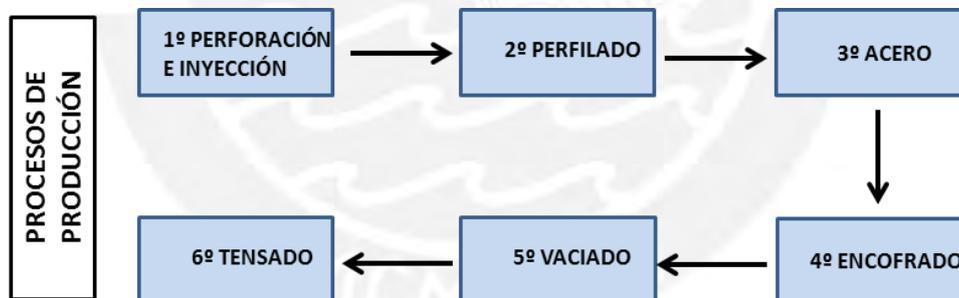


Fig. 6.1 Procesos de producción

Fuente: Propio

El proyecto PANORAMA PLAZA NEGOCIOS fue construido por la empresa GRAÑA Y MONTERO junto a la empresa TERRATEST SA, como subcontratista, para realizar las actividades de perforación y tensado de muros. Este proyecto trata de la construcción de 2 edificios de oficinas 9 sótanos y 19 pisos en un área de terreno de 7,357m<sup>2</sup> y aproximadamente 123,000m<sup>2</sup> de área techada. El proyecto contempla la construcción de 450 paños de muros anclados, divididos en 8 anillos anclados y 1 anillo sin anclajes (sótano 9).

Adicionalmente, no solo se ha utilizado información de estas dos obras, sino también se ha utilizado todo el *know how* adquirido por las empresas “Graña y Montero” y “COINSA” a través de todos sus años construyendo en nuestro país.

Cabe mencionar que el nivel de industrialización del sector de construcción del Perú es bajo, con el uso predominante del concreto armado y uso masivo de mano de obra (Murguía et al. 2016; Brioso et al. 2016). También es importante resaltar que la responsabilidad principal de la ejecución de obra recae en el residente de obra y la empresa contratista principal, sin embargo, en un futuro los tribunales podrían determinar responsabilidades adicionales en los demás agentes involucrados en la organización de obra (Brioso y Humero 2016). Por todas estas razones, cobra vital importancia que todos los procesos sean estandarizados acorde a la regulación vigente.



## CAPÍTULO 7: RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 7.1. OPTIMIZACIÓN DE LA MANO DE OBRA:

En este acápite se realizará el análisis y muestra de resultados de los datos obtenidos de las cartas balances tomadas al proceso de encofrado y desencofrado de muros anclados con el encofrado HARSCO.

Se tomaron 9 mediciones a distintas cuadrillas de encofradores desde el inicio (desencofrado de muros anclados a las 7:30am) hasta el término de sus actividades (término de encofrado de muros anclados 4:00pm aproximadamente). Para este análisis siempre se consideró cuadrillas de 3 operarios, trabajando por tarea cumplida hasta el término de sus actividades. El total de las mediciones se encuentran adjuntadas en el anexo 1 de esta tesis. Las actividades fueron agrupadas de acuerdo a lo explicado en el acápite 5.1.1 y a partir de esto se obtuvieron los siguientes resultados:

Se van a utilizar abreviaturas referentes a:

- TP: Tiempo Productivo.
- TC: Tiempo Contributivo.
- TNC: Tiempo No Contributivo.

#### 7.1.1 ANÁLISIS DE CARTA BALANCE DE CUADRILLAS TRADICIONALES

##### 7.1.1.1 Informe de cuadrillas

- **INFORME CUADRILLA 1:** Inicio: 08:10am – Fin: 04:10pm

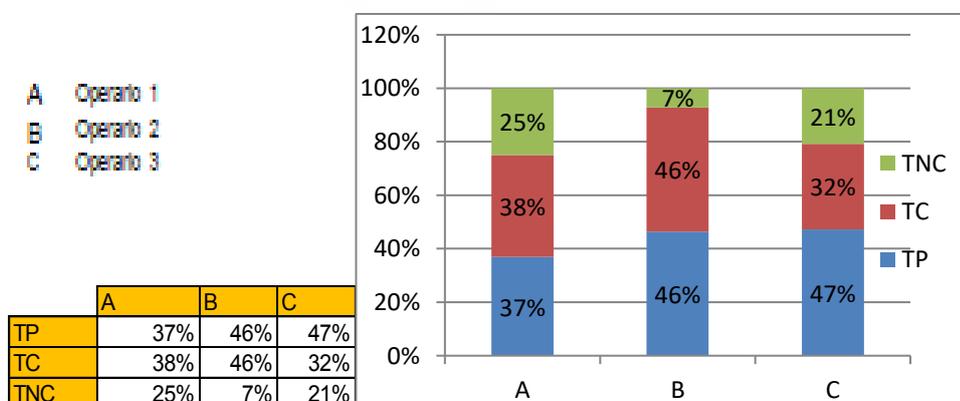


Gráfico.7.1: Porcentaje de TP, TC y TNC de cada obrero de la cuadrilla 1

Fuente: Elaboración Propia

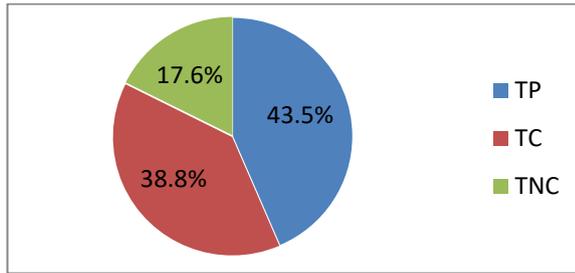


Gráfico.7.2: Porcentaje de TP, TC y TNC de cuadrilla 1 en total.

Fuente: Elaboración Propia

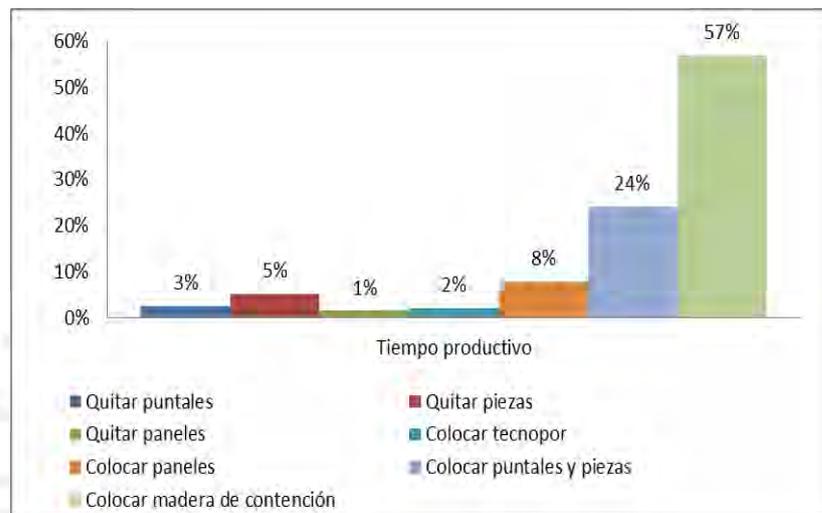


Gráfico. 7.3: Porcentaje de Tiempo Productivo de cuadrilla 1

Fuente: Elaboración Propia

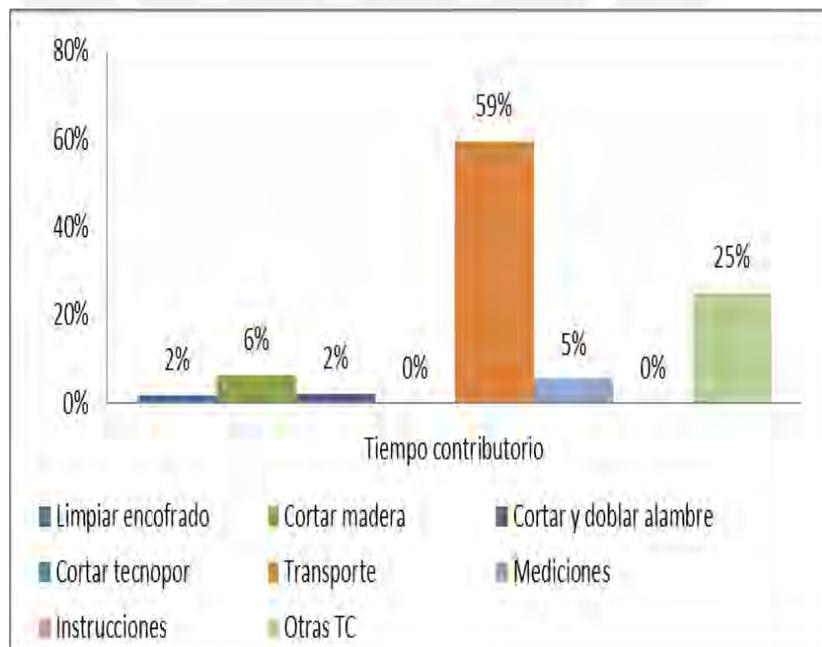


Gráfico 7.4 tiempo contributorio referidas a las diversas tareas

Fuente: Elaboración Propia

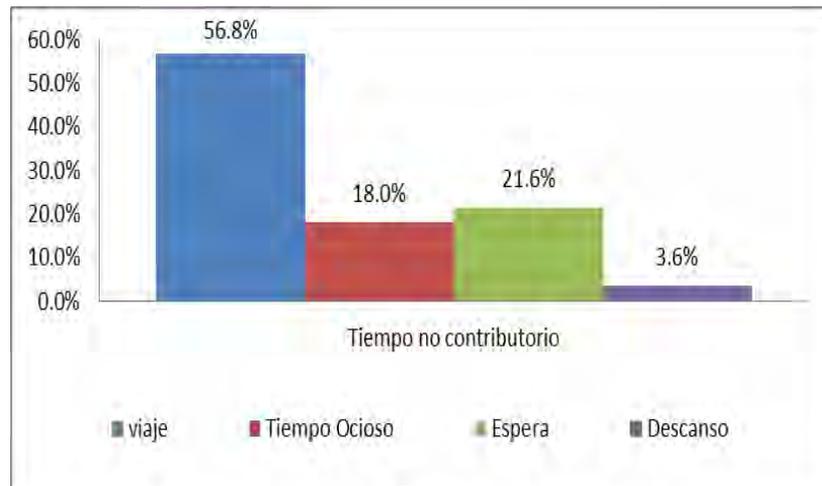


Gráfico 7.5: Distribución detallada de tiempos en relación a tiempo no contributivo

Fuente: Elaboración Propia

El resto de resultados de las cuadrillas se encuentra en el anexo 1.

### 7.1.1.2 ANALISIS DE TIEMPO DE CADA CUADRILLA

A partir de los resultados de los análisis de tiempo de las cuadrillas de encofrado a partir de las cartas balance, se puede observar que todas las cuadrillas evaluadas tienen en promedio 42% de tiempo productivo, 36% de tiempo contributorio y 22% de tiempo no contributorio (Fig. 7.6). A partir de estos resultados se evaluará las formas de reducción de tiempo contributorio y no contributorio.

	ANALISIS DE TIEMPOS DE CADA CUADRILLA									PROM
	CUAD.1	CUAD.2	CUAD.3	CUAD.4	CUAD.5	CUAD.6	CUAD.7	CUAD.8	CUAD.9	
TP	43.5%	30.3%	41.4%	51.6%	51.2%	41.3%	37.7%	45.7%	38.3%	42.3%
TC	38.8%	47.1%	37.7%	40.7%	33.8%	31.9%	37.1%	24.6%	34.0%	36.2%
TNC	17.6%	22.6%	20.9%	7.8%	15.0%	26.8%	25.3%	29.6%	27.7%	21.5%

Cuadro. 7.1 Análisis de tiempo del trabajador en cada cuadrilla

Fuente: Elaboración Propia

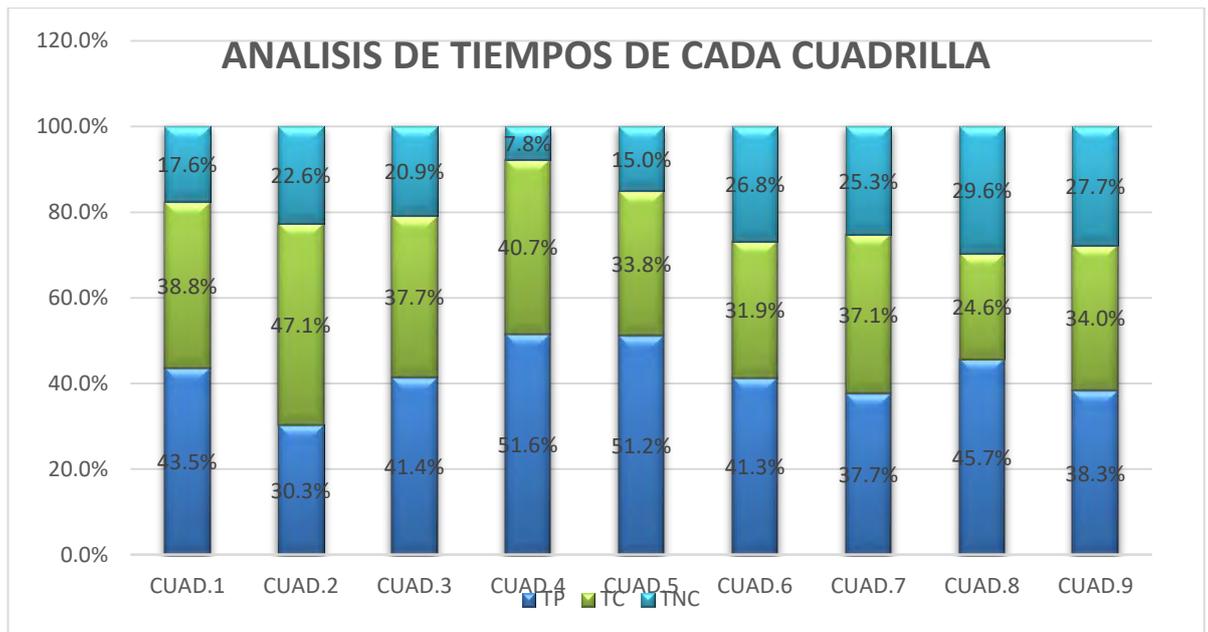


Gráfico 7.6 Distribución de tiempos productivos, contributorios y no contributorios de las 9 cuadrillas evaluadas.

Fuente: Elaboración Propia

Las acciones productivas suman un 42.3% del total del tiempo de la actividad. Son consideradas como acciones productivas a toda acción que genere un valor en la partida, es decir, encofrado y desencofrado de paneles, encofrado y desencofrado de puntales, etc.

Se tiene que maximizar el tiempo productivo respecto del total para una mejora a nivel económico y operacional, por ello se tiene que reducir al mínimo los tiempos contributorios y no contributorios.

Las acciones no contributorias suman en promedio un 21.5% del total del tiempo de la actividad. Entre las acciones no contributorias están los viajes a SS.HH., los descansos, tiempos de ocio y tiempos de espera por falta de indicación del capataz y/o ingeniero, demora en liberación de calidad de partidas y/o paralización de actividades por faltas de seguridad. La mayoría de estas acciones pueden ser corregidas con una mayor coordinación entre ingeniero-capataz-obrero, además de tener un mayor control en aspectos de calidad, seguridad y producción sobre el personal obrero.

Las acciones contributorias suman en promedio un 36.2% del total del tiempo de la actividad. Este porcentaje del total tiene una gran implicancia en los tiempos y costos de la actividad. Si se quisiera reducir este porcentaje de tiempo contributorio

y convertirlo en tiempo productivo se tendría que emplear mejoras en el proceso constructivo. Estas mejoras reducirían los tiempos de la actividad, permitiendo que se genere una producción más eficiente y menos costosa. Sin embargo, otra manera de aprovechar estos tiempos contributivos y reducir los costos de la partida es mejorando la cuadrilla que realiza la actividad. En este caso, la cuadrilla de encofrado y desencofrado de muros anclados está compuesta de 3 operarios (cuadrilla típica), los cuales realizan las acciones productivas, contributivas y no contributivas. Si analizamos los tiempos de cada uno de los integrantes de la cuadrilla, se puede observar que uno de los tres operarios realiza en la mayoría de su tiempo trabajos contributivos. Esto se puede evidenciar en el cuadro 7.2.

ANÁLISIS DE TIEMPOS DEL TRABAJADOR CON MAYOR TC EN CADA CUADRILLA										
	CUAD.1	CUAD.2	CUAD.3	CUAD.4	CUAD.5	CUAD.6	CUAD.7	CUAD.8	CUAD.9	PROM
TP	46.4%	14.1%	28.2%	50.3%	36.7%	19.6%	22.5%	27.0%	34.6%	31.0%
TC	46.4%	62.7%	55.4%	42.7%	40.1%	44.4%	42.4%	26.5%	38.3%	44.3%
TNC	7.1%	23.2%	16.4%	7.0%	23.2%	36.0%	35.1%	46.5%	27.1%	24.6%

Cuadro 7.2 Análisis de tiempo del trabajador con mayor TC en cada cuadrilla.

Fuente: Elaboración Propia

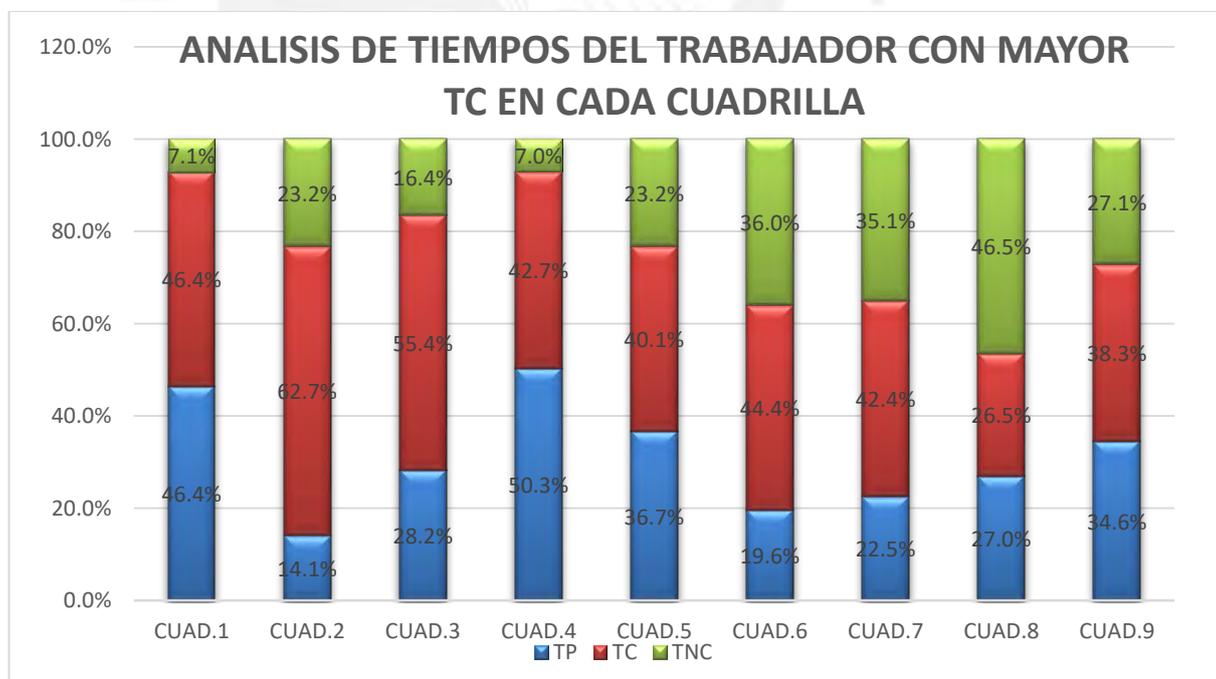


Gráfico 7.7 Distribución de tiempos de trabajador con mayor cantidad de tiempo contributivo de cada cuadrilla.

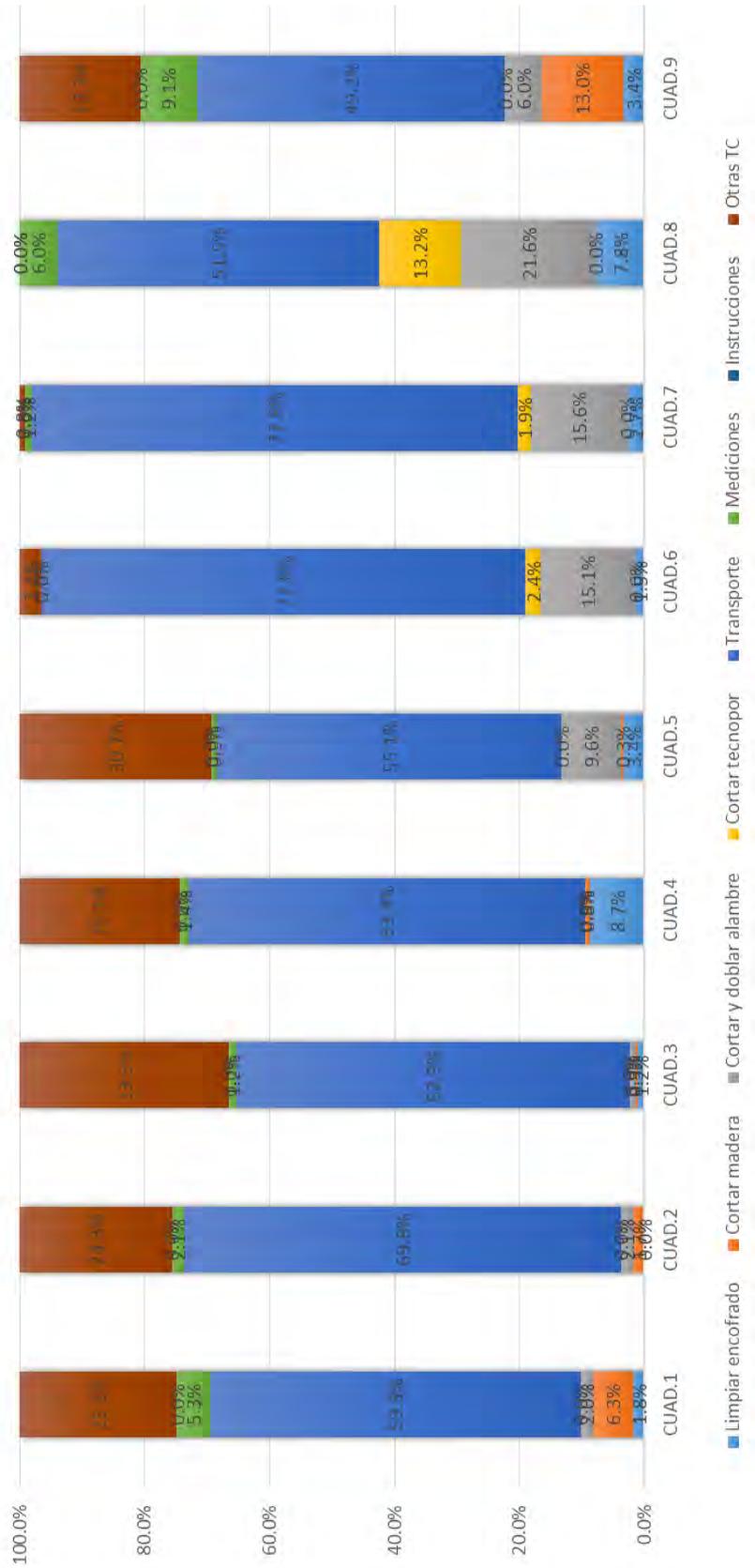
Fuente: Elaboración Propia

En la fig. 7.7 se muestra la distribución de tiempos (TP, TC, TNC) del trabajador que realiza más trabajos contributivos de la cuadrilla. Se puede observar que en promedio el 44.3% del tiempo este trabajador realiza acciones contributivas y el 24.6% del tiempo realiza acciones no contributivas. Ante valores tan elevados de tiempos contributivos y no contributivos, se podría pensar que este integrante de la cuadrilla no tiene que ser un operario, sino más bien un oficial o ayudante, lo cual permitiría una reducción en el costo de mano de obra de la partida. Para poder corroborar esta hipótesis, se tendrá que analizar ¿qué acciones de esta cuadrilla son consideradas contributivas y si estas podrían ser realizadas por un oficial o ayudante?

	CUAD.1	CUAD.2	CUAD.3	CUAD.4	CUAD.5	CUAD.6	CUAD.7	CUAD.8	CUAD.9	PROM
Limpiar encofrado	1.8%	0.0%	1.2%	8.7%	3.4%	1.5%	2.7%	7.8%	3.4%	3.4%
Cortar madera	6.3%	1.7%	0.3%	0.8%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	13.0%	2.5%
Cortar y doblar alambre	2.0%	2.1%	0.9%	0.0%	9.6%	15.1%	15.6%	21.6%	6.0%	8.1%
Cortar tecnopor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.4%	1.9%	13.2%	0.0%	2.0%
Transporte	59.3%	69.8%	62.9%	63.4%	55.1%	77.6%	77.8%	51.5%	49.2%	63.0%
Mediciones	5.3%	2.1%	1.2%	1.4%	0.9%	0.0%	1.2%	6.0%	9.1%	3.0%
Instrucciones	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Otras TC	25.2%	24.3%	33.5%	25.7%	30.7%	3.4%	0.8%	0.0%	19.3%	18.1%

Cuadro 7.3 Actividades relacionadas con el tiempo invertido

Fuente: Elaboración propia



**Gráfico 7.8 Distribución de tiempos contribuyentes de cada cuadrilla.**

Fuente: Elaboración Propia

Del análisis de tiempos contributorios de las cuadrillas se puede observar que el transporte o acarreo de materiales representa en promedio el 63% del tiempo contributorio de la cuadrilla. Esto a primera vista indicaría que la mayor parte del tiempo contributorio es dedicado para el acarreo de materiales, lo cual podría ser realizado por un ayudante sin ningún problema. Sin embargo, no se debe olvidar que el otro 37% del tiempo no contributorio, que está dividido entre mediciones, cortes de madera y alambre y limpieza de encofrado, entre otros, no será realizado de manera rápida y eficaz por un ayudante; además que este ayudante también tendría que realizar trabajo productivo, trabajo que realizará de manera ineficiente por falta de experiencia y capacitación. Por ello se recomienda el uso de un oficial especializado en carpintería, el cual podría realizar sin ningún problema todas las acciones contributorias y productivas, mejorando a su vez gracias a la curva de aprendizaje. A partir del análisis realizado, se concluye que en cada cuadrilla típica de encofrado y desencofrado de muros anclados conformada por 3 operarios, uno de los operarios realiza la mayoría de su tiempo trabajos contributorios (acarreo de materiales entre otros), los cuales podrían ser realizados en su lugar por un oficial de carpintería. Con este cambio se reduciría los costos de mano de obra de la partida.

### **7.1.2 ANÁLISIS DE CUADRILLA FIRST RUN STUDY (FRS)**

Para el análisis del FRS se estudió el encofrado de los muros pantalla debido a que es una actividad estándar, repetitiva y tiene una duración prudente para ser medida. Se planea la secuencia correcta de pasos de la actividad de encofrado, junto con el capataz y operario, teniendo en cuenta la seguridad del personal. Además, se identifica los pasos críticos o productivos, contributorios y no contributorios (ver cartas balance a detalle).

1	Quitar puntales
2	Quitar piezas y madrea
3	Quitar paneles
4	Limpiar encofrado
5	Cortar madera
6	Cortar y doblar alambre
7	Cortar tecnopor
8	Colocar tecnopor
9	Colocar paneles
10	Colocar puntales y piezas
11	Colocar madera de contención

Cuadro 7.4. Actividades realizadas en secuencias de trabajo

Fuente: Elaboración Propia

Se utilizaron inicialmente 3 operarios por paño entre desencofrado y encofrado para esa actividad donde inicialmente se demoraban alrededor de 8h.

Luego de la recolección y evaluación de la data se toma la decisión de cambiar a uno de los operarios por un oficial en la cuadrilla, pues las tareas que realizaba el operario excedente eran posibles hacerlas con un oficial con la misma calidad.

Con esta premisa se realizó un análisis de FRS con una cuadrilla de 2 operarios y un oficial. A este último, se le encargó hacer la misma actividad y se tomó 3 muestras de cartas balances (ver anexo 2).

Se puede observar a partir de las gráficas y de los ratios que los tiempos de desarrollo de la actividad no han variado considerablemente. Esto comprueba que al modificar la cuadrilla podemos obtener la misma calidad y disminuir el costo. Además, se elimina, modifica y mejora los pasos para que no les tome mucho tiempo en ejecutar su trabajo dando así un promedio de 5.29h con un tiempo pico de 3.34h. Para esto se redujo el tiempo de transporte de materiales dejándolos todos los días cerca del lugar donde se iba a trabajar el siguiente día y debido al aumento de la curva de aprendizaje de las tareas.

Cuando se capacitó al personal y se indicó los trabajos que tenía que priorizar, mejorar o eliminar. Esto toma unos días hasta que el personal se adapte. Por ende, se obtuvieron cambios notables y se puede notar desde la muestra 10 al 12 con

rendimientos de 0.94hh/m<sup>2</sup>, 0.90hh/m<sup>2</sup> y 0.89hh/m<sup>2</sup>. Si se hubiera seguido tomando datos se hubiera llegado a obtener rendimientos cercanos al pico de 0.57hh/m<sup>2</sup>. Sin embargo, se iba a notar la peculiaridad de que la incertidumbre de la variabilidad sería mucho menor o muy predecible en comparación a lo que se puede notar entre las muestras del 1 al 9. Por ello, en la curva de productividad de puede notar directamente la curva de aprendizaje. Además, si se notase cambios en la curva estos serían fácilmente identificables en el campo para la inmediata solución de estas y seguir con cumpliendo con lo esperado en la programación.

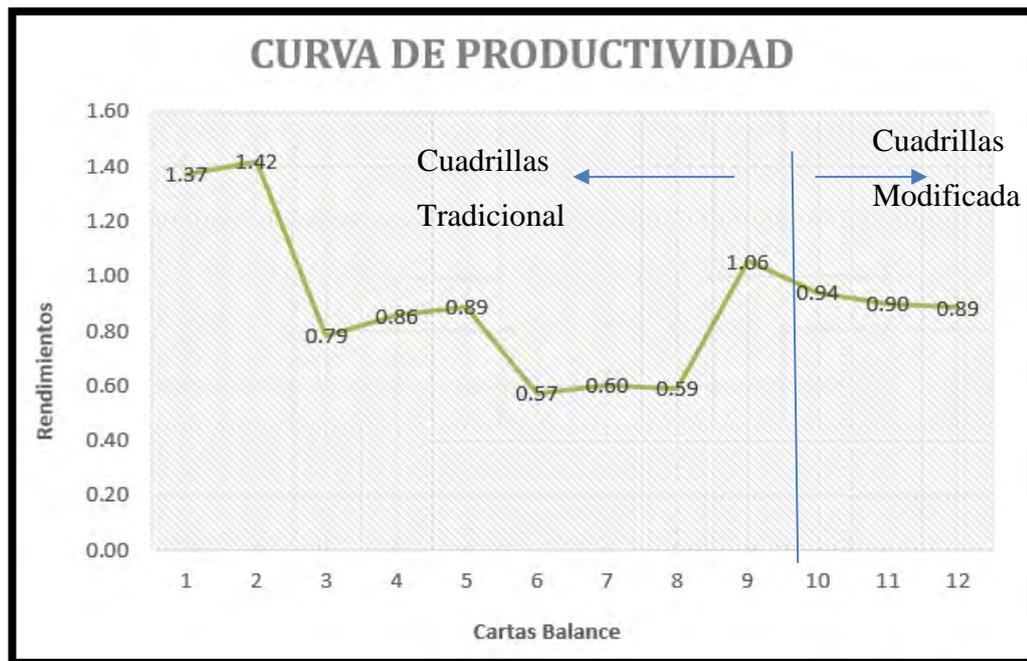


Gráfico 7.9 Curva de Productividad

Fuente: Elaboración propia

## FIRST RUN STUDY - ANÁLISIS DE PRIMERA EJECUCIÓN

### Análisis de rendimientos Contractual, Planificado y Ejecutado

	Rend. Contractual	Rend. Planificado	Rend. Inicial Ejecutado	Rend. Promedio Ejecutado	Rend. Pico Ejecutado
Duración	5.89h	5.13h	8.00h	5.29h	3.34h
hh/m <sup>2</sup>	1.01	0.88	1.37	0.91	0.57

\*Las dimensiones son de 3.50m x 5.00m

\*El rendimiento se calcula en base a la cuadrilla de 3 persona por encofrado de muro

Cuadro 7.5 Analisis de Primera Ejecución

Fuente Elaboración Propia

## 7.2. OPTIMIZACIÓN DE LOS EQUIPOS

### 7.2.1 Elección de Maquinaria

Para la elección de la excavadora más apropiada para los trabajos se consideraron la Potencia en el Volante, pues es suficiente para poder elevar los encofrados de armados con el uso de una faja o eslinga y poder trabajar sin problemas al momento de excavar si encuentra un estrato con abundante presencia de bolonería; el peso del orden de trabajo, pues nos permite estar seguros que el suelo no se desmoronará durante el tránsito por los bordes de las banquetas dejadas cuando se realizó la excavación; la menor longitud del brazo, porque nos permite tener una mayor capacidad en el cucharón y el tamaño de la banqueta podrá ser menor debido a que el equipo cuenta con menor dimensión, permitiendo un mayor avance al momento de la excavación y eliminación del terreno a excavar; la capacidad de carga (m<sup>3</sup>) en su cuchara, pues esto nos define el tiempo que le tomará concluir su actividad; y la fuerza con la que trabaja para desprender el material.

MODELO	M313D	M315D	M316D	M318D	M322D
Velocidad max. Desplazamiento(km/h)	37.0	34.0	37.0	37.0	25.0
Potencia en el Volante (kW)	95.0	101.0	118.0	124.0	123.0
Peso en el Orden de Trabajo (kg)	16,200.0	18,300.0	19,800.0	20,100.0	22,500.0
Fuerza de Desprendimiento Frontal (kN)	65.727	77.499	86.328	100.062	115.758
Fuerza de Desprendimiento Lateral (kN)	51.993	57.879	64.746	66.708	81.423
Capacidad del cucharón con brazo de 2.0m (m <sup>3</sup> )*	0.715	-	-	-	-
Capacidad del cucharón con brazo de 2.1m (m <sup>3</sup> )*	-	0.815	-	-	-
Capacidad del cucharón con brazo de 2.1m (m <sup>3</sup> )*	-	-	0.815	-	-
Capacidad del cucharón con brazo de 2.2m (m <sup>3</sup> )*	-	-	-	0.910	-
Capacidad del cucharón con brazo de 2.2m (m <sup>3</sup> )*	-	-	-	-	1.040

Cuadro 7.6. Modelo de maquinaria con funciones necesarias

Fuente: Elaboración Propia

Debido a que la velocidad no es prescindible, pues las velocidades son muy similares, se escogió como patrones decisivos para la elección a la Capacidad del Cucharón, al Peso y la Fuerza de Desprendimiento. Siendo así el modelo M313D el más adecuado para el trabajo. Esto debido a que los trabajos a realizar por esta excavadora excavación localizada para corte y perfilado de banquetas de 3.5mx5m, transporte de materiales y excavación localizada para cimientos; trabajos que requieren de equipos pequeños y potentes. Además que las capacidades de cucharón, peso y fuerza de desprendimiento de la excavadora M313D son

suficientes para los trabajos a realizar; siendo también el de menor costo por ser el de menores dimensiones.

Para la elección de la retroexcavadora se tomó en consideración a la Potencia en el Volante, pues es suficiente para poder elevar los encofrados de armados con el uso de una faja o eslinga y poder trabajar sin problemas al momento de excavar si encuentra un estrato con abundante presencia de bolonería; la capacidad de carga (m<sup>3</sup>) en su cuchara, pues esto nos define el tiempo que le tomará concluir su actividad; y, finalmente, la Fuerza con la que trabaja para desprender el material.

MODELO	416E	420E	422E	428E	430E
Potencia Bruta en el Volante (kW)	58.0	69.0	57.0	69.0	75.0
Peso en el Orden de Trabajo (kg)	6,792.0	7,025.0	7,210.0	7,570.0	7,294.0
Capacidad Nominal del Cargador (m <sup>3</sup> )*	0.96	0.96	1.00	1.00	1.00
Fuerza de Desprendimiento del Cargador (kN)	38.100	45.600	39.000	46.300	47.100
Fuerza de Excavación del Cucharón Retroexcavador (kN)	51.800	61.700	52.000	52.000	70.700
Capacidad Nominal de la Retroexcavadora (m <sup>3</sup> )*	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175

Cuadro 7.7 Modelo de maquinaria según características básicas

Fuente: Elaboración Propia

Debido a las características se nota que el modelo 422E es el más apropiado para la actividad pues es la retroexcavadora que tiene mayor capacidad en el cucharón cargador y con buena fuerza de desprendimiento del cargador y retroexcavador sin ser la excavadora de mayores dimensiones o la de mayor costo. Además se puede observar que todos los modelos de retroexcavadora tienen la misma capacidad nominal en el cucharón retroexcavador, por lo que esto no haría la diferencia.

Considerando las características entre la retroexcavadora y la excavadora se tienen patrones muy resaltantes como la Capacidad de carga, Fuerza de Desprendimiento, Potencia en el Volante, Peso en el Orden de Trabajo y la maniobrabilidad de estos al utilizarlos. En el caso de la retroexcavadora se va a utilizar la capacidad del cucharón retroexcavador para comparar con la capacidad del cucharón de la excavadora, puesto que el cucharón retroexcavador es el que permitirá realizar los trabajos de corte y perfilado. La maniobrabilidad se definió mediante consulta a operadores de los equipos. Se comparará ahora entre la excavadora M313D y la retroexcavadora 422E; las cuales, fueron las mejores elecciones entre sus demás modelos del mismo equipo para este tipo de actividades.

MODELO	M313D	422E
Potencia en el Volante (kW)	95.0	57.0
Peso en el Orden de Trabajo (kg)	16,200.0	7,210.0
Fuerza de Desprendimiento Frontal (kN)	65.727	39.000
Capacidad del Cucharón(m <sup>3</sup> )*	0.715	0.175

Cuadro 7.8 Comparación entre las características de las maquinarias

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a lo conversado con los operadores y a la experiencia recogida, mencionan que para este tipo de trabajo fino no se debe generar sobre-excavación y se debe usar una excavadora. Las excavadoras en contraste con las retroexcavadoras tienen mayor Fuerza y Potencia para desprender el material grueso y como buen porcentaje de bolonería como se caracteriza el suelo de Lima. En adición a lo mencionado por los operadores, al momento de trasladar los encofrados izándolos con la eslinga se es más fácil y menos peligroso movilizarlo a punto solicitado. Finalmente, como se puede ver en el cuadro anterior la Potencia y la Fuerza son mayores en la excavadora con respecto a la retroexcavadora por 38kW y 26.7kN respectivamente. Sin embargo, la retroexcavadora es más ligera que la excavadora pero esto no es relevante, puesto que el suelo tiene una capacidad portante de 4.2 kg/cm<sup>2</sup> y la excavadora genera un esfuerzo de 0.057kg/cm<sup>2</sup>. Finalmente, la excavadora puede trasportar materiales pesados y encofrados ensamblados por la potencia y fuerza que lo caracteriza. Sin embargo la retroexcavadora es muy limitada ante este tipo de trabajo y sólo podría realizar excavaciones localizadas y transportar materiales de poco o mediano peso.

### 7.2.2 Elección de Encofrado

Todos los sistemas de encofrado son buenos con respecto a su función de encofrar el concreto procurando la menor cantidad de desplomes. Incluso algunos pueden ser reforzados de tal forma que se puede reducir aún más la probabilidad de desplomes mediante el uso de puntales adicionales, reforzando así el soporte al empuje de concreto (sobrecosto por mayor cantidad de puntales). La diferencia entre elegir un tipo de encofrado y otro podría estar más bien por la trabajabilidad, o la cantidad de piezas que posee cada tipo de encofrado (ya que mientras más piezas tienen un tipo de encofrado, más probabilidades hay que se pierdan y más caro saldrá el alquiler).

Finalmente, si bien no podemos dar un tipo de encofrado a elegir como preferente ya que depende de muchos factores, siendo el precio uno de los más importantes, se está dando las características de cada uno para la evaluación de cada uno. Por ejemplo, intervienen los factores de disponibilidad de stock, condiciones de uso de las piezas (nuevo o usado), porcentaje de descuento por ser cliente continuo y las tolerancias que se manejarán en campo de acuerdo a los alcances.

### **7.3. OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS**

En este acápite se utilizará la experiencia acumulada por muchos años de varias empresas de nuestro país para la construcción de muros anclados. Esta experiencia se ve reflejado como lecciones aprendidas e innovación en diversos procesos los cuales serán explicados a detalle líneas abajo como propuestas de mejora. Adicional, después de detallar cada propuesta de mejora se generará un procedimiento optimizando en la cual se aglomerarán todas las propuestas y se evaluará económicamente este procedimiento optimizado.

#### **7.3.1. Lecciones aprendidas e innovación (*Know how*)**

##### **7.3.1.1 Optimización de modulación de muros anclados**

Los constructores siempre realizan su trabajo en base a los planos recibidos por el cliente o por los proyectistas. Sin embargo, por lo general, se puede optimizar estos planos en base a diseño o modulación. Uno de estos casos se puede apreciar en la construcción de muros anclados.

Los muros anclados por lo general son modulados por los proyectistas en tamaños de 3.50x5.00m para sus paños típicos (esto puede variar para los primeros dos o tres paños dependiendo de la estabilidad del terreno). Este es un buen pre-dimensionamiento, ya que permite a una excavadora poder perfilar un paño en un promedio de 1 a 1.5 horas, permitiendo a un equipo poder perfilar hasta 6 paños diarios si se dan todas las condiciones, sin embargo, este dimensionamiento se puede optimizar.

Una de las formas de optimizar se obtiene mediante el ajuste de la modulación de los paños de muros anclados al mismo tamaño del tamaño de los sótanos del proyecto. Usualmente en los muros anclados se puede observar dos costuras de picado, la primera es la zona de encuentro de los paños construidos superior e

inferior (zona de picado de cachimba) y la segunda costura es la zona de intersección de muro anclado con losa de sótano.

Mediante el ajuste de los paños de muros anclados se busca unificar estas dos costuras en una sola, permitiendo un ahorro en mano de obra, materiales, equipos y tiempo para el picado y resane de estas zonas, además de presentar un mejor acabado. Adicional a esto también se tendrá una mayor facilidad para la construcción de muros que presenten un mayor espesor en los últimos anillos, ya que la zona de transición de ancho de muro quedará justo a la altura de la costura y no en el medio de un paño, por lo que no habrá que modificar la modulación del encofrado para generar ese cambio de espesor y se podrá controlar de una manera más adecuada el desplome del muro, además de ser menos perceptible una vez construidos los sótanos.



Fotografía 7.1. Panorama del avance de construcción de muros

Fuente: Elaboración propia

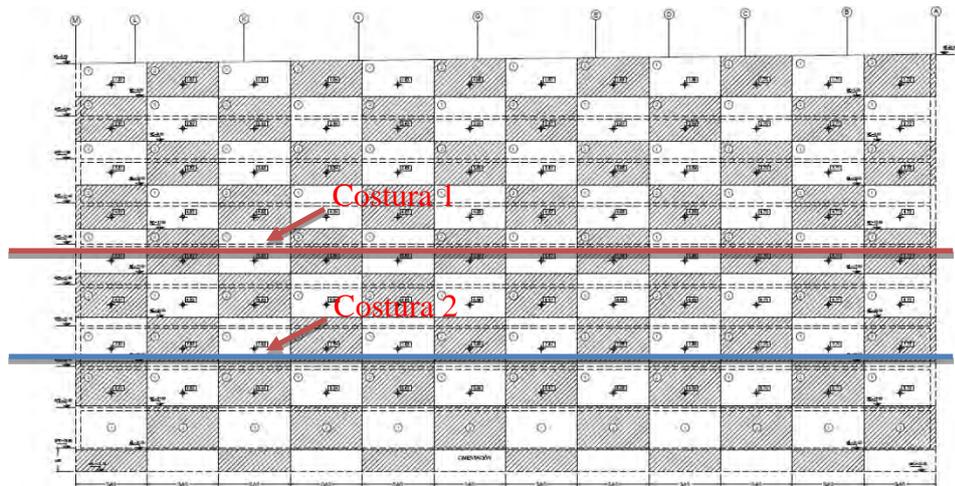


Fig. 7.1 Imágenes de muros anclados en los que se aprecia las dos costuras. Costura 1: zona de encuentro de paños construidos y picado de cachimba. Costura 2: Intersección entre losa y muro.

Fuente: Elaboración Propia



Fotografía 7.2. Vista preliminar de costura unificada

Fuente: Elaboración propia



Fig. 7.2 Muros anclados con modulación de acuerdo a tamaño de sótanos. Se puede apreciar la unificación de las dos costuras.

Fuente: Elaboración Propia

En la última figura 7.2 se observa que los primeros anillos no tienen una costura unificada. Esto es debido a que usualmente el primer anillo es más pequeño en altura, debido a la estabilidad del suelo, además que los primeros sótanos tienden a ser más altos que los sótanos típicos. Por ello se busca jugar con los primeros anillos de tal forma que se pueda unificar la costura lo antes posible con los sótanos típicos.

Muchas veces se tendrá que realizar paños de menos altura a los paños dimensionados, normalmente, con 3.50x5.00m. Por ejemplo, se tendrá que hacer paños de 3.15x5.00m si los sótanos típicos tienen un alto de 3.15m o de acuerdo a la altura de piso a fondo de losa. Uno pensaría que de esta forma se está produciendo menor obra. Pero, sin embargo, con una mejora del tamaño de los primeros anillos, consultada con los proyectistas, se podrá obtener una modulación adecuada sin necesidad de agregar otro anillo más al proyecto; lo cual, sí generaría muchos sobrecostos.

#### 7.3.1.2 Optimización en el diseño de muros anclados

En el diseño de muros, el calculista debe ver la mejor manera de construir cumpliendo con los parámetros mencionados en el capítulo 2 y teniendo en cuenta el menor uso posible de los materiales consumibles (concreto y acero).

Anclaje o placa metálica: Se sugiere, las placas por donde pasan los cables para ser tensados deberán ser colocadas de manera perpendicular y no en diagonal para evitar el trabajo de volver al muro a resanarlo. Es decir, si colocamos en diagonal como vemos en la figura 7.3 tendríamos que hacer trabajos de picado y resane para poder dar la base adecuada a la placa en diagonal, adicional del resane por posibles cangrejeras.

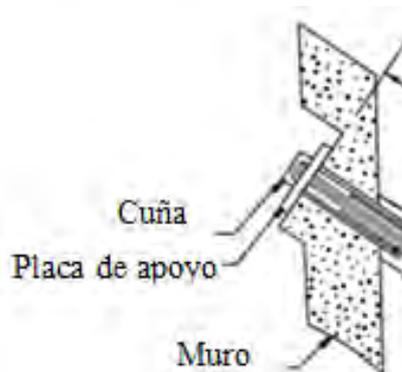


Fig. 7.3 Placa de Tensado en Diagonal

Fuente: FHWA, 1999, Ground Anchors and Anchored Systems, (editado)

### 7.3.1.3 Tensado de los muros en menor tiempo

Teniendo en cuenta la Obra C.C. Real Plaza - Muro Pantalla, los muros pantalla cuentan con cables entrelazados de diámetro, tipo y longitud propuestos por el contratistas TERRATEST S.A. El contratista debe elegir la fuerza de tensión adecuada que debe estar sometido el muro pos-tensado, de acuerdo a los estudios de suelo realizados, y en base a esa información el Ing. Estructural (BLANCO INGENIEROS S.A) realiza el diseño de los muros, la carga inicial propuesta fue de 120tn. Esto puede generar un problema, pues si el concreto tiene que llegar a una resistencia de 280kg/cm<sup>2</sup> para poder ser tensado, se tendría que esperar más de 7 días para que el muro obtenga dicha resistencia para ser tensado con una longitud de cable enterrado de 7.5m. Ocasionando, retrasos en el tren de actividades y, a su vez, afectando el proceso constructivo en los anillos de cada sótano siguiente. Pero ¿por qué? Porque no se puede excavar el muro inferior al muro que todavía no es tensado. Podría causar la caída del muro superior o el debilitamiento del suelo (derrumbe).

La espera para poder tensar excedía lo planeado. Esto iba en contra del cronograma, costo y del proceso constructivo planeado. La mayor preocupación de ir al siguiente anillo era que el paño no se encontrase tensado, pues el concreto no llegó a la resistencia, y por ende no poder excavar por debajo de este. La solución, propuesta presentada y aprobada por el proyectista, posterior a un nuevo análisis, eran que el paño debería llegar a una resistencia de 210kg/cm<sup>2</sup> y que el anclaje tenga una fuerza de tensión entre 50-75tn dependiendo del nivel del frente. Teniendo en cuenta estas indicaciones, la empresa encargada en hacer el anclaje realizó un nuevo diseño para cumplir con lo especificado y determinó que los cables deberán estar enterrados a una longitud entre los 10-13m con una carga de servicio (carga máxima) entre los 50-75tn.

El conseguir una resistencia de 210kg/cm<sup>2</sup> a 3 días con resistencia final sea igual o mayor a 280kg/cm<sup>2</sup> y conseguir el diseño del anclaje para las nuevas condiciones eran posibles; el cual se obtuvo con 7 cables y no con 13 como era en un inicio, se tenía que validarlo con un cuadro comparativo.

LISTA DE ANCLAJES - Revisión 1 al 9 de Octubre del 2012				Realizó: MSS	Revisó: MSS									
Sector	Numeración	Línea	Cant. anc.	Tipo Anclaje	Anclaje Tipo	ah m	NA m	Lv m	Lf m	Lo m	aV °	Fw Ton	Lanc. m	Lo tot m
Zona 1 (NFC -16.50)	1.01 @ 1.51 y 1.78 @ 1.92	1	66	T-IGU	TERRA 6 - 4	5.30	ver planos	3.50	8.50	12.00	15	50	13.00	792.00
Av. Punta del Este y Av. Salaverry (-0.50m)	2.01 @ 2.51 y 2.78 @ 2.92	2	66	T-IGU	TERRA 6 - 5	5.30	ver planos	4.10	6.40	10.50	10	75	11.50	693.00
Salaverry (-0.50m)	3.01 @ 3.51 y 3.78 @ 3.92	3	66	T-IGU	TERRA 6 - 5	5.30	ver planos	4.10	5.40	9.50	10	75	10.50	627.00
Zona 2 (NFC -16.50)	1.61 @ 1.77	1	17	T-IGU	TERRA 6 - 4	5.30	ver planos	3.50	7.00	10.50	15	50	11.50	178.50
Av. Salaverry (+0.50m)	2.61 @ 2.77	2	17	T-IGU	TERRA 6 - 4	5.30	ver planos	3.50	7.00	10.50	10	58	11.50	178.50
	3.61 @ 3.77	3	17	T-IGU	TERRA 6 - 4	5.30	ver planos	3.50	6.00	9.50	10	58	10.50	161.50
	4.61 @ 4.77	3	17	T-IGU	TERRA 6 - 4	5.30	ver planos	3.50	5.50	9.00	10	58	10.00	153.00
Zona 3 (NFC -17.10)	1.93 @ 1.109 y 1.111 @ 1.124	1	31	T-IGU	TERRA 6 - 4	5.30	ver planos	3.50	8.00	11.50	15	50	12.50	356.50
Vecinos (-1.50m)	2.93 @ 2.124	2	32	T-IGU	TERRA 6 - 5	5.30	ver planos	4.10	5.90	10.00	10	75	11.00	320.00
(Se reemplaza el anclaje 1.110 por 2nails)	3.93 @ 3.124	3	32	T-IGU	TERRA 6 - 5	5.30	ver planos	4.10	5.40	9.50	10	75	10.50	304.00
Zona 4 (NFC -17.10)	1.52 @ 1.55	1	4	T-IGU	TERRA 6 - 4	5.30	ver planos	3.50	6.50	10.00	15	50	11.00	40.00
Grifo - Zona rampa (-0.50m)	2.52 @ 2.54	2	3	T-IGU	TERRA 6 - 5	5.30	ver planos	3.50	6.50	10.00	10	64	11.00	30.00
	3.52 @ 3.54	3	3	T-IGU	TERRA 6 - 5	5.30	ver planos	3.50	5.50	9.00	10	64	10.00	27.00
	4.52 @ 4.54	3	3	T-IGU	TERRA 6 - 5	5.30	ver planos	3.50	4.50	8.00	10	64	9.00	24.00
Zona 5 (NFC -17.10)	1.59 @ 1.60	1	2	T-IGU	TERRA 6 - 4	5.30	ver planos	3.50	8.50	12.00	15	50	13.00	24.00
Grifo - Zona rampa (+0.50m)	2.60	2	1	T-IGU	TERRA 6 - 5	5.30	ver planos	4.10	7.40	11.50	10	75	12.50	11.50
	3.60	3	1	T-IGU	TERRA 6 - 5	5.30	ver planos	4.10	5.90	10.00	10	75	11.00	10.00
	4.60	3	1	T-IGU	TERRA 6 - 5	5.30	ver planos	4.10	4.90	9.00	10	75	10.00	9.00
<b>TOTAL ANCLAJES</b>			<b>379</b>											<b>3939.50</b>

LISTA DE NAILS													
Sector	Numeración	Línea	Cant. anc.	Tipo Nail	D barra	ah max m	NA m	Lv m	Ladic* m	Lo m	aV °		Lo tot m
Zona 2 (NFC -16.50)	A.01 @ A.68	1	66	TITAN 40-16	40mm	1.40	Ver planos	5.70	0.30	6.00	15		SIN APROBAR
Av. Salaverry (+0.50m)													
Zona 3 (NFC -17.10)	A.69 y A.70	1	2	TITAN 40-16	40mm	1.40	Ver planos	4.70	0.30	5.00	15		10.00
Vecinos (-1.50m)													
<b>TOTAL NAILS</b>			<b>2</b>										<b>10.00</b>

Cuadro 7.9 Información de longitud del cable anclado y libre

Fuente: Terratest

Costos de Concreto		Total de paños	Dimensiones (Inc. Desperdicio 40%*)	Metrado	Costo	Costo Total
		Cantidad	3.50x5.00x0.25m	m3	Soles/m3	Soles
280(210 a 3 días)	Opción 1 (tradicional)	379.00	6.13	2321.38	323.00	749804.13
210 a 3 días	Opción 2 (optimizado)	379.00	6.13	2321.38	292.00	677841.50
					<b>AHORRO</b>	<b>71962.63</b>

Costos de anclajes	Total de paños	Cables en torón	L total	Costo	Costo Total	
	Cantidad	#	ml	Soles/ml	Soles	
Opción 1 (tradicional)	379.00	13	3068.00	397.08	1218228.44	
Opción 2 (optimizado)	379.00	7	3939.50	321.24	1265524.98	
					<b>AHORRO</b>	<b>-47296.54</b>

CONCRETO 71962.63  
 ANCLAJE -47296.54  
**AHORRO TOTAL 24666.08**

Cuadro 7.10 Velocidad en tiempos de tensado

Fuente: Elaboración Propia

Por ende, como se puede observar, se puede conseguir una mayor velocidad en tiempos de tensado de muros anclados, lo cual permite generar un tren de trabajos fluido, generando ganancias en los costos.

#### 7.3.1.4 Apertura de los paños consecutivos

Es conocido por los constructores el proceso de apertura de paños en forma de dameros, pues este proceso es el adecuado o más conocido en el mercado constructor. 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 los subcontratistas encargados a tensar los cables (Terratest o Geotécnica u otros), 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. Usualmente, se ha observado en los proyectos que lo hacen de dameros para 2 paños con 2 bermas de seguridad como se puede notar en la figura de abajo pero se recomienda hacerlo en los últimos anillos anclados debido a los empujes laterales del terreno. Esto se debe realizar teniendo en cuenta que el anillo superior está vaciado y tensado.



Fotografía 7.3 Apertura de paños consecutivos con vaciado y tensado.

Fuente: Elaboración Propia

Este método es recomendable para poder acortar el plazo de entrega del proyecto; lo cual, es recomendable para quedar bien con el cliente. Sin embargo, debemos evaluar las opciones del cansancio del personal para ver si necesitamos más y el

alquiler del doble de encofrado. Pero esto no alteraría al costo planificado si todo se controla de mejor manera en esos últimos anillos.

### 7.3.1.5 *Contra-flecha horizontal en el encofrado*

El desplome máximo tolerable en elementos verticales será de 1:300 según la NTP. Considerando que los muros tienen una altura de 3500mm, el desplome máximo tolerable será de 12mm. En la figura 7.4, el encofrado se encuentra alineado según planos sin contra flechas. Colocar de esta manera el encofrado generará desplomes en diversos puntos de la cara del muro. Se puede presentar como en las que vemos en las figuras 7.5,7.6 y 7.7.

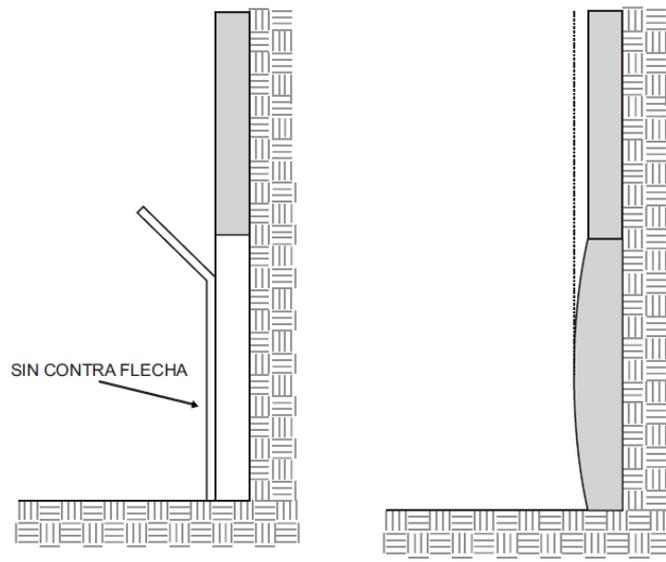


Figura 7.4 Desplome máximo tolerable Fuente: Propia      Figura 7.5 Desplome máximo tolerable Fuente: Propia

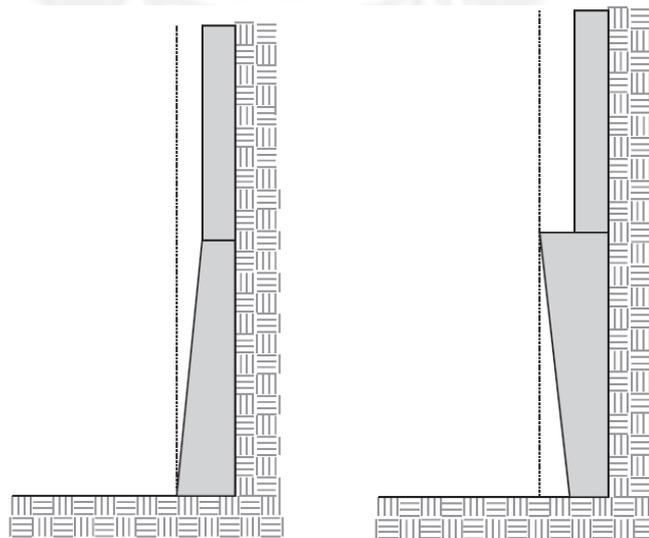


Fig.7.6 Acciones de prevención de desplome Fuente: Propia      Fig.7.7 Acciones prevención de desplome Fuente: Propia

Para no excedernos de ese valor (12mm) se debe aplicar una contra-flecha horizontal (perpendicular al muro) tal que cuando se empiece y se termine con el vaciado, el desplome será por debajo o cercano a los 12mm. Se recomienda utilizar una contra-flecha en la parte superior de 1cm y en la parte inferior de 2cm respecto de su posición real, pues las mayores presiones se concentran en la parte inferior del muro. Se recomienda usar encofrados semipesados, para que puedan aguantar las presiones del concreto (verificar diseño del encofrado con la empresa proveedora) y no se deforme el encofrado cuando se utilice en varias ocasiones, y que puedan ajustarse a las contra flechas sin mucho trabajo (conversar con diferentes empresas de encofrado para cerrar con uno adecuado a las actividades a realizarse).

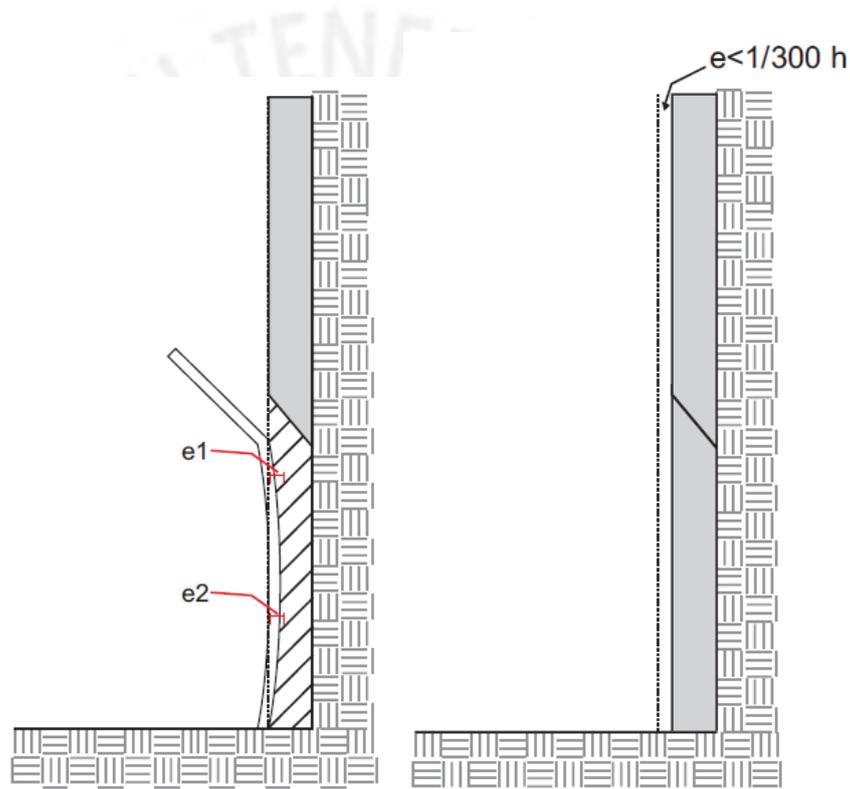


Fig. 7.8 (Fuente: Propia)      Fig. 7.9 (Fuente Propia)

Adicional a lo mencionado, considerar una velocidad de vaciado de concreto lento, de tal forma que el concreto vaya fraguando durante el vaciado y se reduzca la presión (en estado fluido) sobre el encofrado, reduciendo la posibilidad de desplomes en el muro anclado.

#### 7.3.1.6 Retraso en construcción de muros anclados en zona de rampa

Un problema usual en excavaciones profundas para proyectos de edificaciones es el método y la velocidad con la cual se elimina material de excavaciones.

Una solución típica es el uso de rampas, sin embargo, esta es una solución limitada a las dimensiones del proyecto, además de conllevar una gran demora en la etapa de eliminación de rampa y construcción de muros en toda la zona de la rampa; esto es debido a que la rampa siempre compromete uno o dos ejes con muros anclados, los cuales solo se podrán construir mientras se va eliminando la rampa poco a poco, ya que también se tiene que seguir el proceso constructivo de construir paños intercalados y se tensado de los muros de un nivel para poder seguir excavando por debajo de este. Todo este proceso de construcción de muros en zona de rampa suele ser muy lento y conlleva un gran retraso en las siguientes etapas de construcción de cimentación y sótanos.

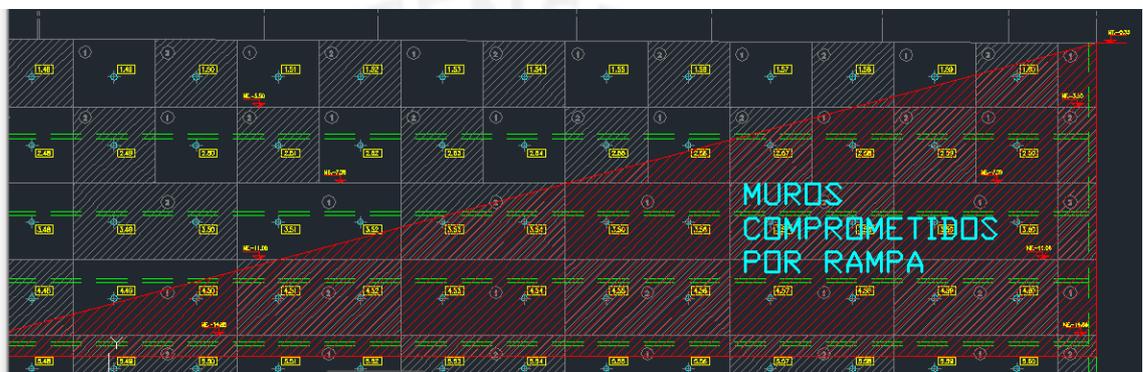


Fig. 7.10 Muros comprometidos y construidos muy lentamente por rampa a causa de la demora en eliminación a tiempo de varios muros anclados.

Fuente: Elaboración Propia.

Un método para solucionar este problema de retrasos de construcción de muros por la rampa es utilizar fajas transportadoras. Las fajas transportadoras te permitirán transportar el material desde el punto más profundo de la excavación directamente hacia un volquete en el exterior del proyecto, por lo cual no se tendría necesidad de usar una rampa, eliminando todos los problemas que la rampa conlleva. Adicional a esto, se puede llegar a excavar a niveles mucho más profundos en proyectos en los cuales las dimensiones por ser pequeñas no se podría lograr con una rampa.



Fotografía 7.4 Las fajas transportadoras pueden trasladar el material de excavación directamente a un volquete en el exterior sin necesidad de utilizar una rampa.

Fuente: Elaboración Propia

Además, uno de los principales problemas que tiene tanto la rampa como la faja transportadora es el desarrollo que va a necesitar para poder cumplir con el porcentaje de pendiente necesario para que pueda trabajar bajo las condiciones.

El uso de fajas transportadoras es un método práctico para la eliminación de material en proyectos de edificaciones. Sin embargo, esta se utiliza en conjunto con el uso de rampas. Es decir, de todas formas se va a tener que generar rampas en la etapa de excavaciones pero una adecuada etapa de transición de rampa a faja transportadora es la clave para evitar futuros problemas.

Un periodo de inicio adecuado para la puesta en funcionamiento de la faja transportadora es entre el 2do y 3er anillo de excavación, siendo los primeros anillos eliminados mediante rampas. Esto se debe a que no se debe permitir que la rampa crezca más allá del 3er anillo, ya que las desventajas de la rampa comienzan a tener mayor efecto a medida que la excavación se profundiza (volumen de material por eliminar, cantidad de muros anclados por construir). Por ello, es importante que el proceso de montaje de la faja comience lo antes posible, si es preciso junto con el inicio de la construcción de muros anclados, de tal forma que se gane tiempo en su proceso de montaje y esté lista cuando el proyecto se encuentre en el 3er anillo.

La transición de rampa a faja transportadora en el 3er anillo permitirá la construcción de los muros ubicados en la zona de la rampa, con lo cual la construcción de muros se hace mucho más homogénea y constante.

Se debe tener en cuenta que si bien la faja transportadora elimina un 30% menos de material de excavación que a través de la rampa de tierra, ésta contribuye a una construcción más limpia con flujo constante de las actividades de acero, encofrado y concreto con resultados óptimos a nivel de productividad. Por otro lado, los proyectos de excavación ejecutados exclusivamente con rampa tienden a culminar tiempo después en relación a la construcción de proyectos que utilizan faja.

Finalmente dependerá del área y de la profundidad de cada proyecto para evaluar la posibilidad de utilizar más de una faja transportadora. El uso de una faja transportadora trae muchos beneficios ya explicados, sin embargo, el simple montaje y uso de esta no traerá los beneficios esperados. A continuación se mostrarán ciertos tips a tomar en cuenta para poder obtener la producción esperada en eliminación de material con faja transportadora:

- El tamaño de una faja transportadora va a depender de cada proyecto. Las dimensiones del proyecto y la profundidad son las que determinarán la longitud de faja necesaria, ya que esta requiere de cierta pendiente de inclinación. Si la longitud de la faja es muy grande, esta no podrá ser abarcada por una sola faja principal, sino se tendrá que utilizar transiciones que funcionen como extensiones de la faja principal. Un estimado del número de transiciones se muestra en la siguiente tabla:

# Sótanos	Longitud de faja
1 - 4 sótanos	1 faja principal
5 - 8 sótanos	1 faja + 1 transición
9 - 12 sótanos	1 faja + 2 transiciones

Cuadro 7.11 Tipo de sótanos y utilización  
Fuente: Elaboración Propia

- La posición de la faja transportadora es un criterio muy importante a considerar. La faja transportadora en conjunto con las transiciones deben estar orientadas hacia el centro del proyecto, de esa forma se puede concentrar todo el material a cortar y eliminar en el centro, dejando libre todos los bordes del proyecto para la construcción de muros anclados.

Una posición ideal para el alimentador de la faja transportadora es al medio del proyecto, ya que esto vuelve la zona central del proyecto como zona de eliminación y acopio de material de excavación, lo cual permite que se reduzcan los tiempos de acarreo de material.

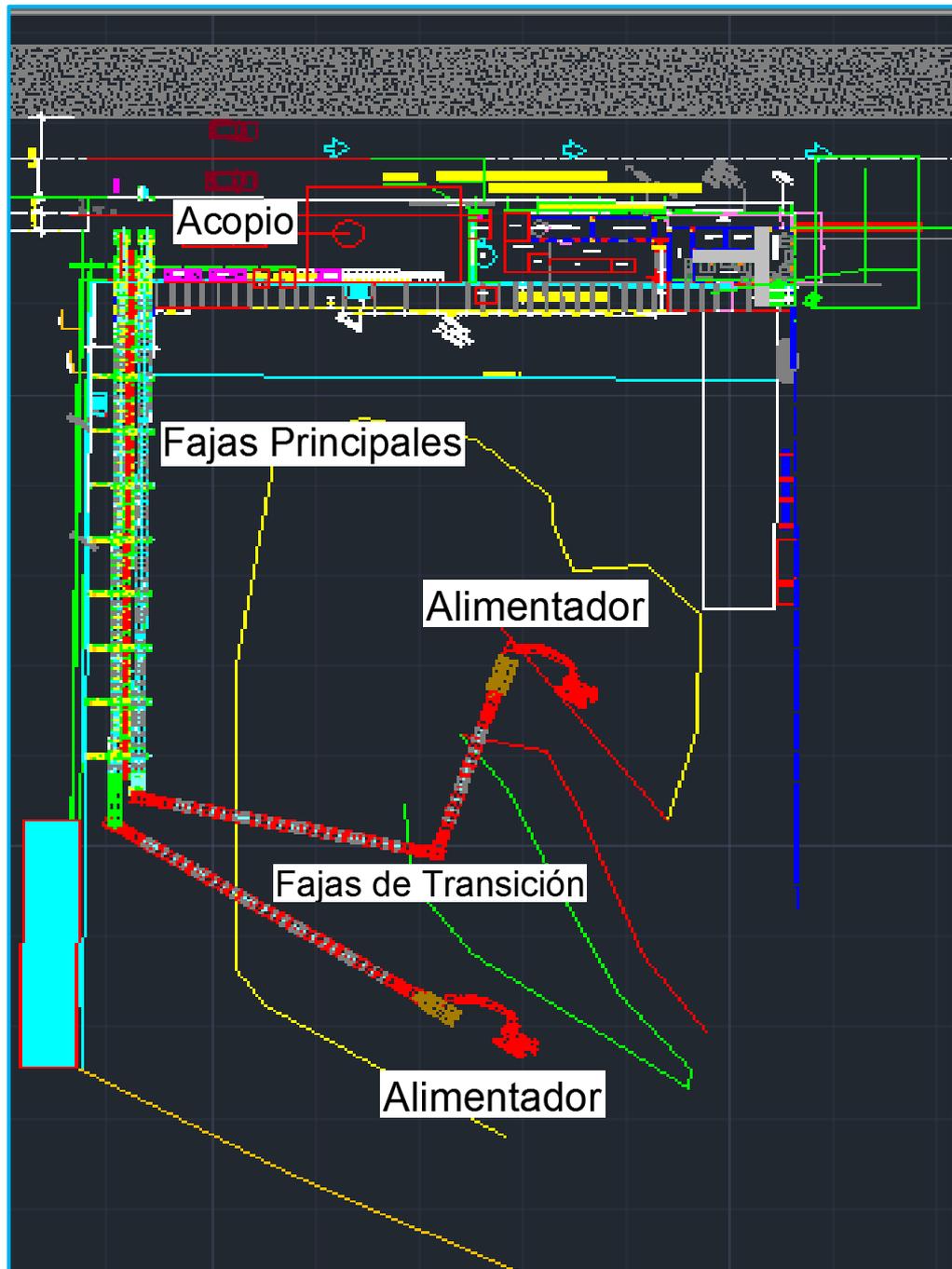


Fig. 7.11 Fajas transportadoras con una y dos transiciones

Fuente: Elaboración Propia

Se puede considerar ubicar la faja transportadora en el exterior de la obra y realizar el carguío de volquetes en la pista; sin embargo, esto podría afectar el tránsito frente al proyecto. Ante situaciones como esta se puede considerar montar la faja sobre una escuadra metálica empotrada a los muros anclados. De esta forma se podría realizar el carguío de material en los volquetes en una zona que no afecte el tránsito en las vías.

- La cantidad de fajas transportadoras a utilizar en el proyecto depende del total de material a excavar y de la velocidad con la cual se desea eliminar todo ese material. Una faja transportadora tiene un promedio de velocidad de eliminación de 700m<sup>3</sup>/día.

- Por cada faja transportadora en el proyecto se debería considerar un mínimo de 2 excavadoras. Una excavadora dedicada a la alimentación de material a la faja transportadora, mientras que la segunda excavadora se encarga de proveer material a la primera excavadora.

Estos son los equipos mínimos requeridos para la eliminación de material de excavación. Además de estas excavadoras se tiene que considerar los equipos a utilizar para corte de terreno, encofrado y perfilado. Además, se puede mejorar la productividad de la faja mediante el uso de chutes especialmente diseñados para repartir la carga de material a dos volquetes a la vez. También se tiene que considerar la capacidad de la faja y del alimentador para aumentar el caudal de material de excavación.

#### 7.3.1.7 Picado de concreto de muro de sótano de un edificio vecino

Muchas veces en los edificios que se construyen en la actualidad, generan los casos en los cuales se tiene que construir un edificio con sótanos al lado de otro edificio con sótanos ya existente. Este hecho si bien te evita costos en anclaje de muros, ya que no existe problema de estabilización de taludes en esta zona, se genera una actividad adicional, la actividad de picado de terreno y concreto de la estructura vecina.

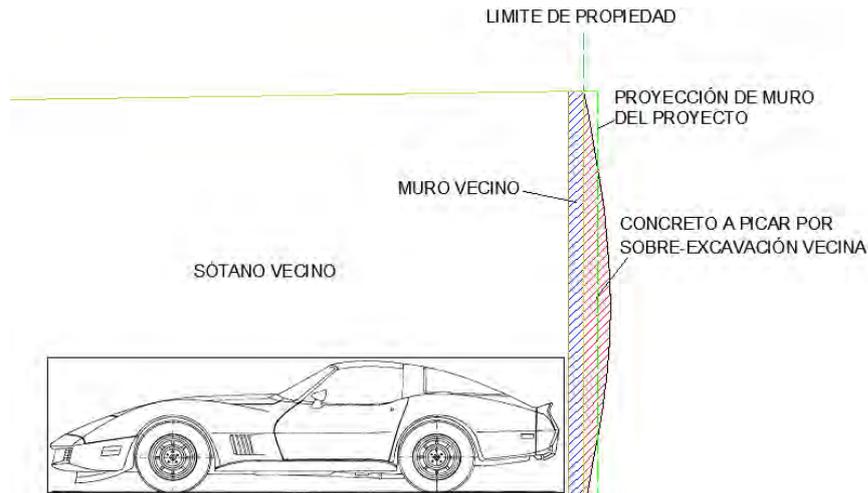


Fig. 7.12 Concreto a picar por sobre-excavación vecina

Fuente: Elaboración Propia

Es probable que durante la construcción de muros anclados de una estructura vecina se haya generado sobre-excavación de muros y por ende, un mayor vaciado de concreto. Esto genera que cuando se busque excavar y construir los muros de sótano de división con el edificio vecino, nos encontremos que el concreto de su muro invade nuestra propiedad. Por ello se genera la actividad de picado de concreto. Esta actividad si bien se podría realizar durante la construcción de losas de sótanos y no durante la excavación, esto generaría una partida que entorpecería mucho el tren de actividades de construcción de losas de sótanos. Por ello es recomendable realizar dicha actividad durante la excavación, conforme se va construyendo muros anclados y excavando el terreno. Adicionalmente, el dejar esta zona del muro vecino sin picar durante la excavación genera una zona vulnerable, la cual podría generar desprendimiento de rocas pegadas al muro; siendo esto un gran peligro para todo personal que se encuentre cerca a dicha zona.

Dependiendo de la longitud de encuentro con el muro vecino, se podría requerir una gran cantidad de picadores con martillos demoledores o neumáticos. Esto se debe a que el rendimiento de estos picadores es bajo en esas condiciones, pues la posición de picado no solo es de arriba hacia abajo, sino también en línea horizontal; además de que esta es una actividad con gran desgaste físico y se podría requerir el armado de andamios para el picado.

Por ello es recomendable el uso de máquinas como minicargadores con martillos demoledores (picotones), los cuales dependiendo del tipo que se escoja, tendrán un mucho mayor rendimiento y un mayor alcance, lo cual podría resultar en ahorro de

costos (considerando ahorro en personal, alquiler de equipos y andamios y tiempo de trabajo). El operador tiene que tener la habilidad necesaria para poder realizar este picado sin dañar el muro de concreto del vecino, esto mediante un picado de arriba hacia abajo. Esto siempre y cuando se considere realizar la actividad durante la excavación masiva, siendo lo único que requiere es que se genere una plataforma en el terreno adecuada para el movimiento de la maquinaria.

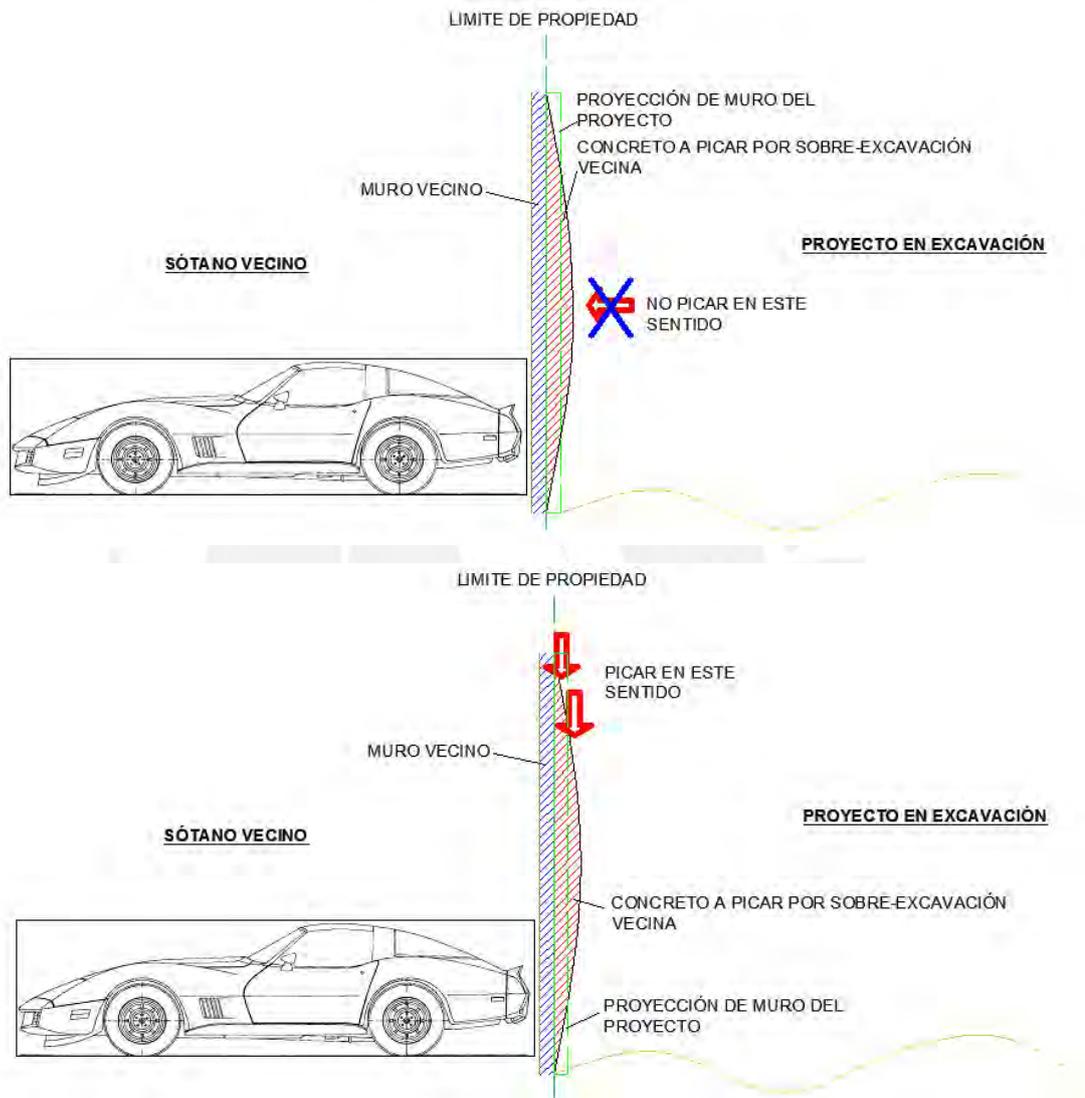


Fig. 7.13 Correcto Picado de concreto por sobre-excavación vecina

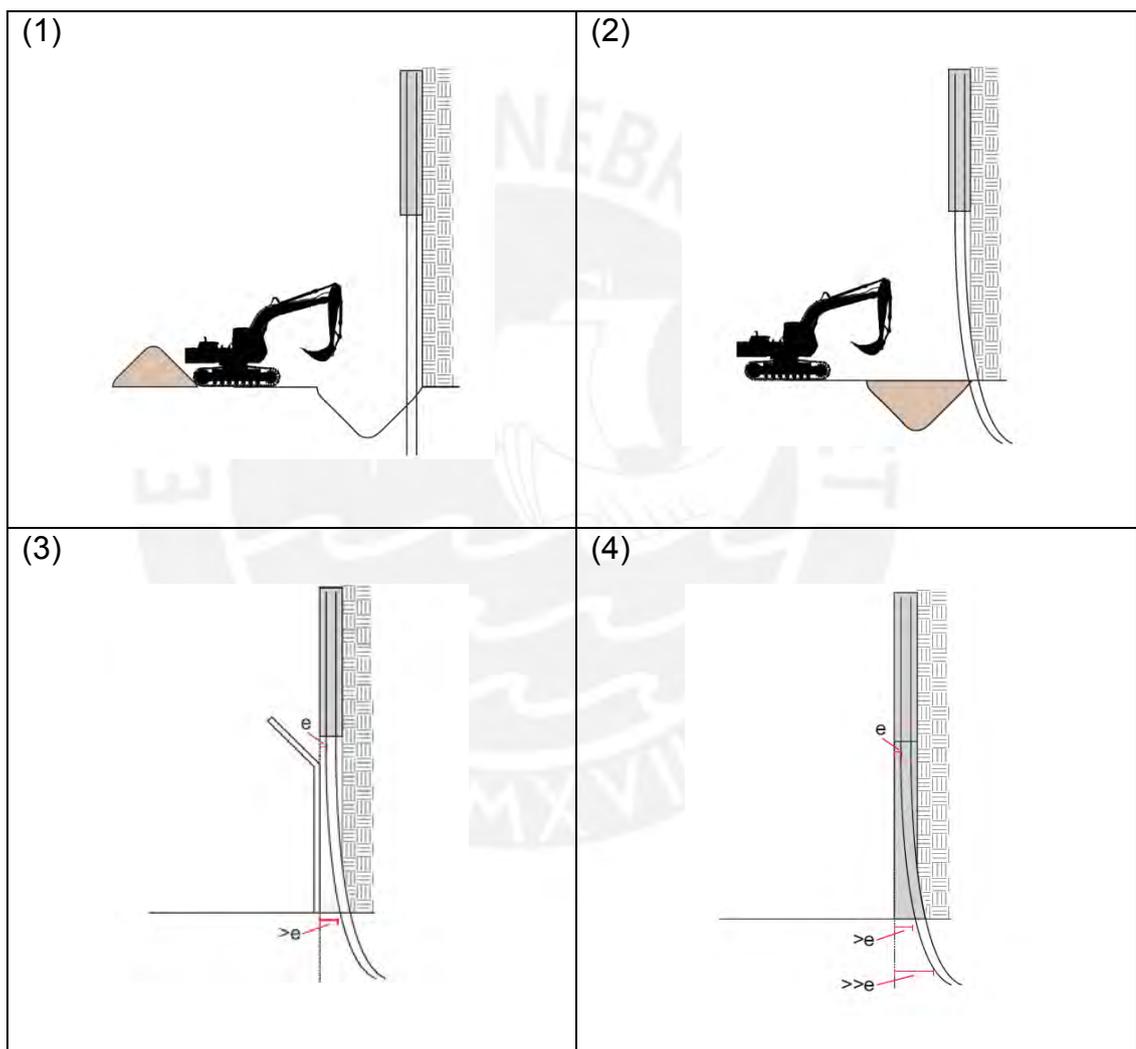
Fuente: Elaboración Propia

### 7.3.1.8 Enterrado de malla de acero

Luego de la colocación de las bolsas, el enterrado parcial de la malla de acero será con la ayuda de la excavadora, pues, posteriormente, con una pareja de personas se procederá a enterrar la malla. No es recomendable realizar el enterrado

completo con la excavadora, porque podría arquear la malla y las mechas inferiores no estarían alineadas las mallas de los anillos inferiores (ver imágenes).

En la figura 7.14, se puede observar el proceso erróneo y bastante practicado en empresas con poca experiencia en este tipo de obras. Aquí se nota, claramente, que la malla no está alineada y, por ende, no se cumplirá con el recubrimiento especificado en los planos. Esto repercutirá del anillo siguiente, recurriendo a un grifado de las barras para cumplir con el recubrimiento, pero se repetirá los errores.



Fuente: Elaboración Propia

Una forma de corregir este problema se muestra en la figura 7.27; en el cual, se usa maquinaria para el tirado de la malla con eslingas, intentando corregir el doblez. Sin embargo, las mechas enterradas no estarán verticales en su totalidad y se generará otra actividad para grifarlas en el siguiente anillo.

El procedimiento mostrado en la figura 7.15 es una ayuda provisional a la figura 7.26. Otro tipo de corrección provisional es el colocar unas “U”, grapas de acero o separadores, 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 esto, tampoco, garantiza la verticalidad de las mechas, pues tendrías que colocar en demasía estas “U” hasta en las zonas de las mechas y esto no se da.

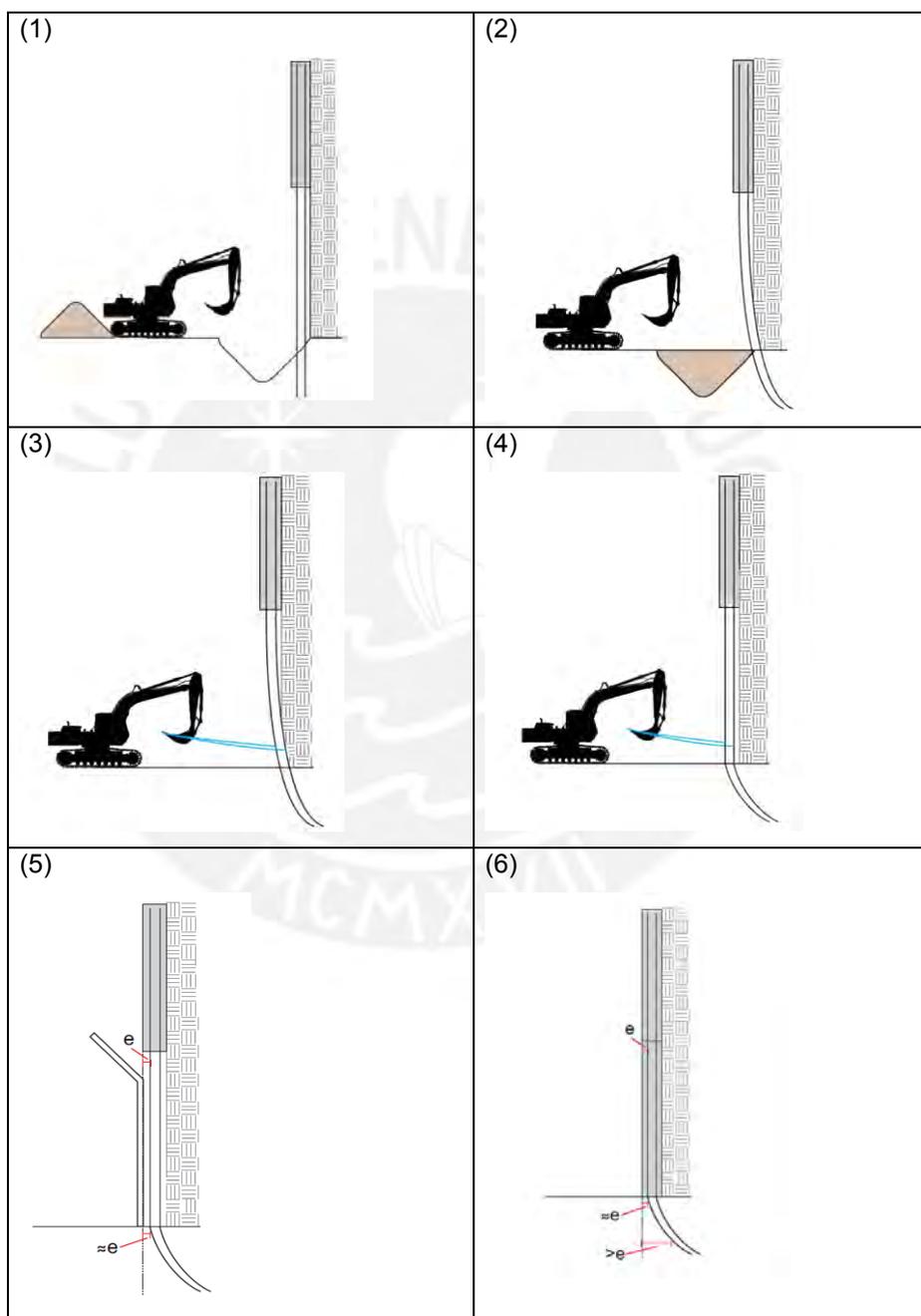


Fig. 7.15 Proceso Erróneo Corregido

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 7.16 se muestra los procesos de un correcto enterrado de las mechas de la malla. De esta manera, evitamos estar usando horas máquinas en vano, antes de enterrarlas por completo y al momento de jalarlas para acomodarlas, asegurando la verticalidad de las mallas. Este proceso es más económico y más efectivo.

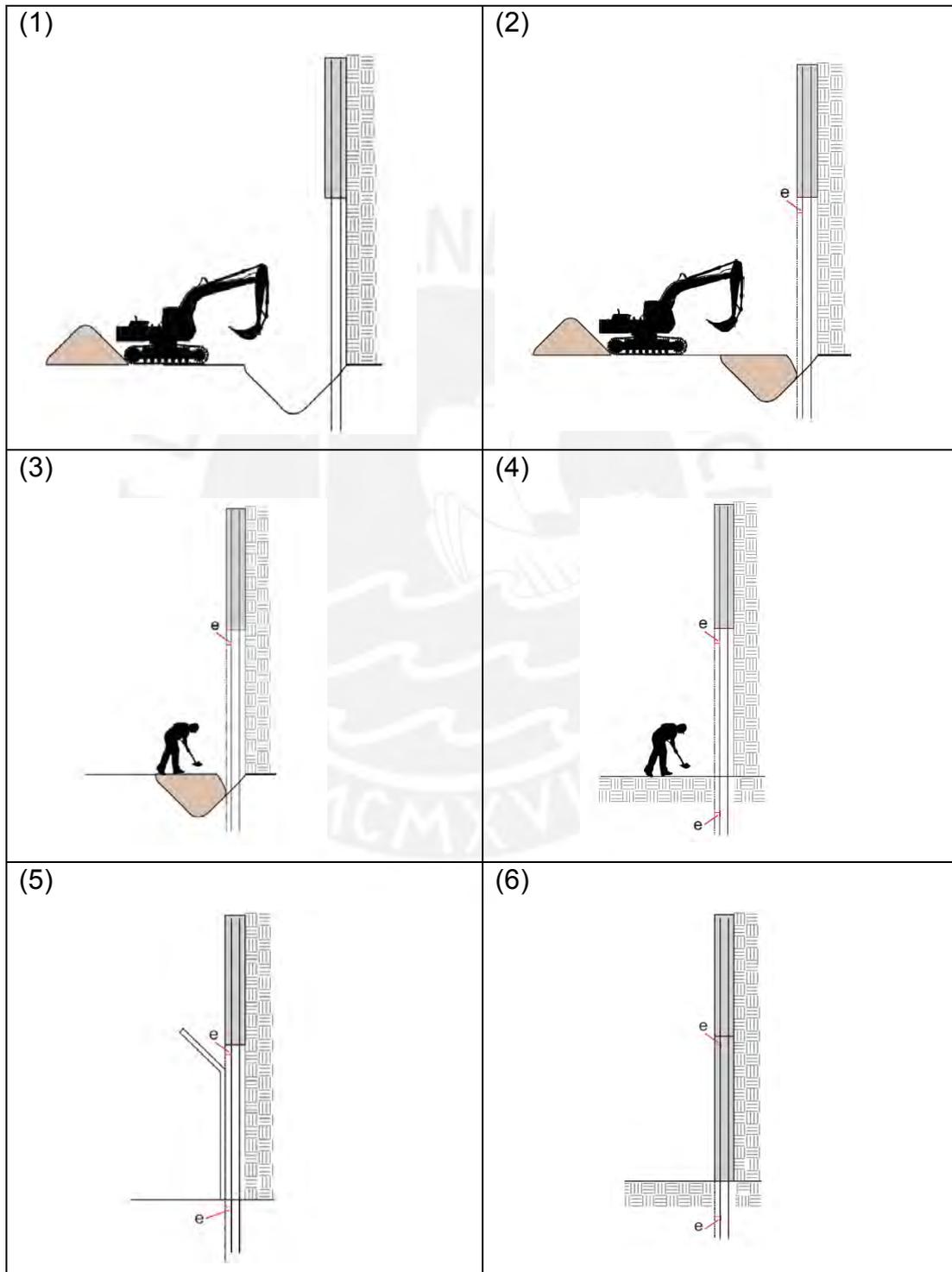


Fig. 7.16 Proceso Mejorado

Fuente: Elaboración Propia

### 7.3.1.9 Colocación de bolsas de plástico en las mechas de acero

El uso de las bolsas de plástico en las mechas inferiores es imprescindible para proteger al acero de los agentes oxidantes que tiene el suelo. En la figura 7.17, se puede notar como las mechas se oxidan al estar en contacto con el terreno.

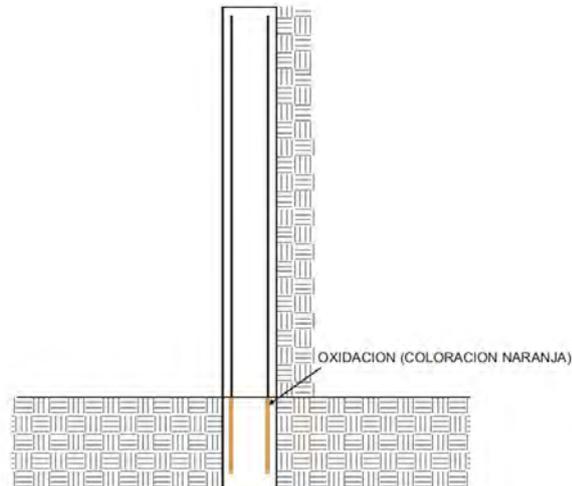


Figura 7.17 Sin protección del acero

Fuente: Elaboración Propia

Por ello, en la actividad de corte del terreno, se realizará una sobre excavación en la parte inferior para las mechas sobresaliente, que luego de colocar la malla, estas se entierran por el mismo suelo que se retiró.

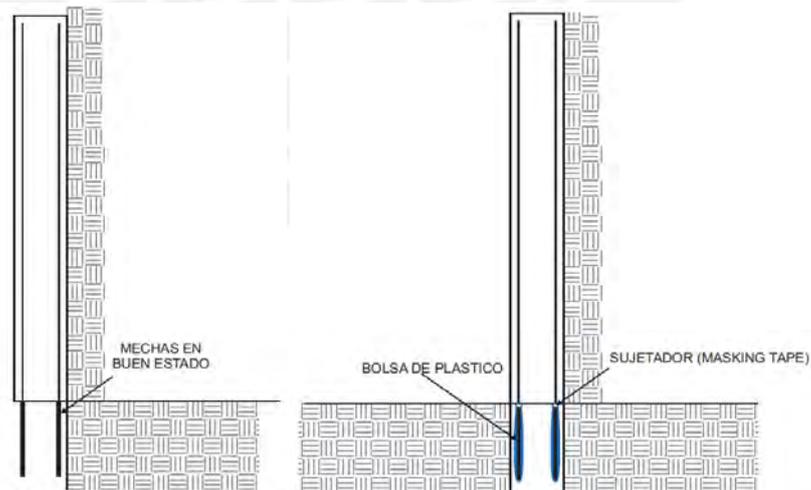


Fig. 7.18 Sobre-excavación para mechas

Fig. 7.19 Con protección del acero

Fuente: Elaboración Propia

Fuente: Elaboración Propia



Fotografía 7.5 : Colocación de protección de acero. (Fuente: Elaboración Propia)

### 7.3.1.10 Colocación de cama de arena en chaflán

En el proceso de enterrado de la malla de acero deberá usarse una cama de arena de 10cm de espesor sobre el suelo. Esto garantizará resolver tres problemas:

- 1) Desperdicio de concreto (económico y constructivo)

Este tipo de desperdicio aparece en los anillos inferiores al primero.

En la figura 7.20 se observa claramente como el anillo superior no utilizó un chaflán y, a raíz de ello, se usó una gran cantidad de concreto en el chute para “garantizar” que el concreto ocupe los espacios vacíos; lo cual, no es cierto como se nota en la figura, se explicará en el punto 3). Esto ocasiona el momento tiempo del picado y resane, aumentando horas hombres y uso de materiales. Sin embargo, en la figura 7.21 se nota el uso del chaflán generando poco concreto en el chute y garantizando casi en su totalidad, también depende del vibrado, la ocupación de los vacíos. Esto hará a las actividades de picado y resane un menor costo en horas hombres, uso de materiales y tiempo de actividad.

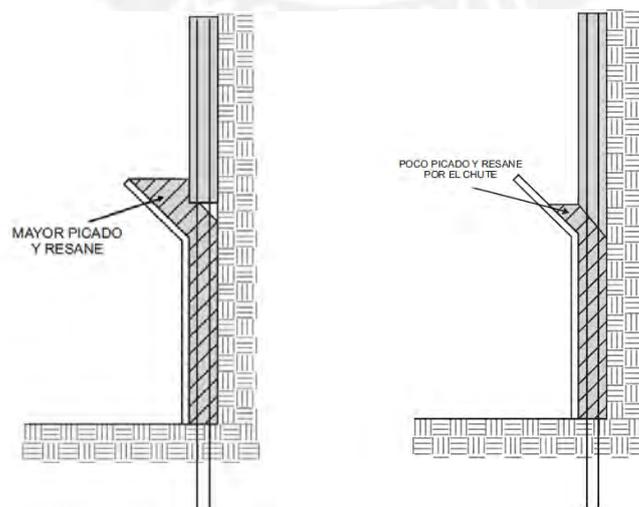


Figura 7.20 Sin Chaflán (Fuente: Propia) Figura 7.21 Con Chaflán (Fuente: Propia)

2) Unión entre los muros de concretos nuevos y viejos (anillo superior e inferior)  
 El mal vibrado y la falta del chaflán en el anillo superior crean una alta probabilidad para que no exista una buena o razonable unión entre anillos. Esto no se debe equivocar con la falta de concreto, en caso que faltase llenar algún muro.

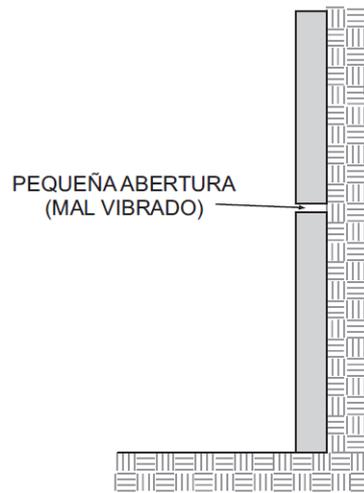


Figura 7.22 (Fuente: Elaboración Propia)

3) Impide la aparición de aberturas en la cara contra terreno entre los anillos  
 Si lo vemos de perfil, el concreto del muro superior tendrá una inclinación pronunciada; lo cual, avalará que no se desperdicie concreto en el chute y que exista una mayor unión entre muros. La experiencia nos muestra la aparición de aberturas en la cara contra terreno entre anillos por un proceso tradicional en los muros anclados. El chaflán impide este tipo de problemas y permite una mayor unión entre muros para que trabajen de mejor manera, transfieren mayor cantidad de esfuerzo a los muros inferior haciendo que estos muros trabajen de la forma que fue diseñado por el proyectista.

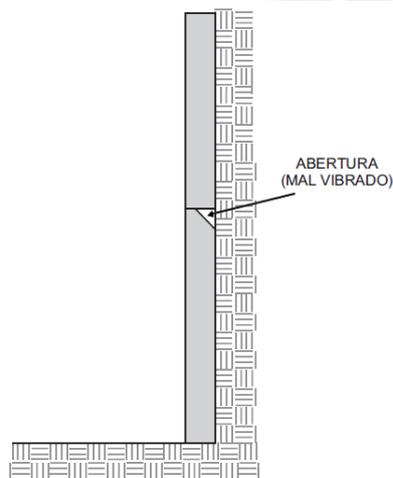


Figura 7.23 (Fuente: Propia)

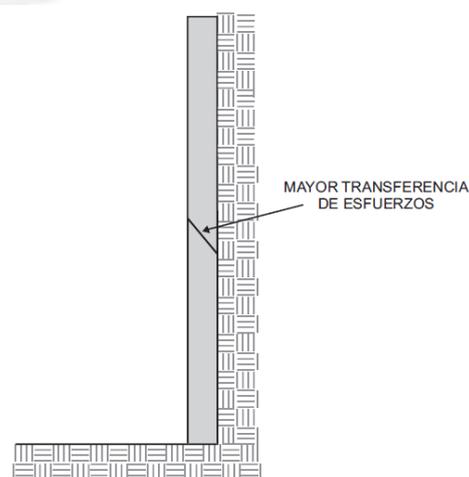


Figura 7.24 (Fuente: Propia)

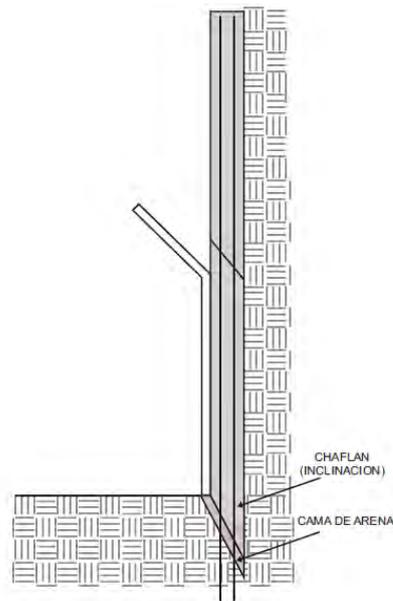


Figura 7.25 (Fuente: Propia)

#### 7.3.1.11 Generación de plano de falla en cachimba

Durante la actividad de vaciado de concreto de los muros anclados, es esencial el uso de una cachimba, la cual permita transportar el concreto hacia el interior del encofrado. Ya en un punto anterior se explicó como minimizar el tamaño de esta con un adecuado uso de un chaflán en la parte inferior de cada muro; sin embargo, siempre quedará un chute el cual se tendrá que picar.

Por este motivo, una manera adecuada de poder mejorar el proceso de picado de este chute es el siguiente:

- Inmediatamente después de terminado el vaciado del muro anclado, mientras la mezcla de concreto aún se encuentra fresca colocar dentro del chute una plancha de madera (de preferencia con una aplicación de desmoldante) a la misma altura del ancho del muro anclado.
- Después del fraguado del concreto, utilizar un martillo rompedor con cincel de pala ancha plana (o punta de pato), y retirar el concreto del chute que quedó por fuera de la plancha de madera.
- Retirar la madera de forma cuidadosa, de tal forma que se pueda reutilizar para posteriores trabajos.

El colocado de la plancha de madera permite generar una superficie de falla en la cachimba de concreto y con el uso de un martillo rompedor se podrá retirar el chute de concreto muy rápidamente, reduciendo el trabajo de picado de este chute de 30 min o 1 hora a unos 5 minutos. Esta reducción de tiempo de trabajo reduce costos

de HH del personal, HM por el alquiler del martillo rompedor y hasta una mayor rotación de los andamios utilizados para el picado de la cachimba.

Adicional a esto, después de retirar la plancha de madera, el muro anclado queda con un acabado mucho más limpio y liso (no queda la rugosidad producto del picado), el cual necesitaría solo una limpieza y solaqueo, más no sería necesario tarrajear.

Adicional al corte más sencillo de la cachimba, si se ha dejado tecnopor en la zona de encuentro muro-losa, es recomendable realizar el picado de este justo después del desencofrado. Esto debido a que si se deja para después, esta partida podría entorpecer el tren de actividades de construcción de sótanos (losas).

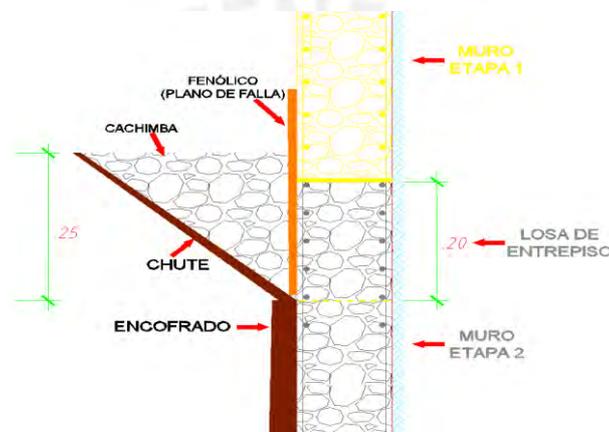


Figura 7.26. Esquema de cómo se genera el plano de falla con una plancha de madera. (Fuente: RAMOS 2015)

#### 7.3.1.12 Amolado de los muros anclados justo después del desencofrado

Una buena práctica en la construcción de muros anclados es el realizar un amolado de toda la superficie del muro anclado inmediatamente después del desencofrado del muro para una limpieza de asperezas y un buen acabado en el muro. Este amolado se realiza con una amoladora, herramienta de poder, acoplando un disco de copa o de desbaste. Lo normal al hacer el amolado una actividad de acabado es realizarlo mucho después de la construcción de los muros anclados, cuando los sótanos ya estén construidos. Sin embargo, para el desarrollo del amolado de los muros cuando los sótanos estén construidos requerirá del uso de equipos de inyección y eyección de aire en los sótanos, ya que al ser espacios confinados es un requisito obligatorio por normas de seguridad. Además conllevaría muchas horas el realizar el amolado de todos los muros de sótano.

Si se realizara el amolado de los muros justo después de ser desencofrado y antes de la excavación del muro inferior, se podrá realizar el amolado sin la necesidad de equipos especiales para espacios confinados, ya que se realizará la actividad al aire libre, logrando un ahorro en alquiler de equipos, además de distribuir de una forma más adecuada el trabajo de tal manera que el amolado sea una pequeña actividad en el proceso de construcción de muros anclados en lugar de ser una actividad adicional para el acabado de los muros.

#### 7.3.1.13 Exceso de concreto por sobre-excavación

La actividad de corte del terreno debe realizarse con la elección de un operador experimentado. Este operador deberá realiza dicha actividad con comodidad, rapidez y precisión con el fin de obtener una profundidad frontal parecida a la que manda en planos, con la finalidad de no utilizar en exceso concreto. Si son muros típicos deberán contar con un error de +/- 10cm en la zona central (zona donde la cuchara del equipo se extiende con más facilidad y genera sobre-excavación).

Usualmente, en el primer anillo, cuando se realiza esta actividad, se tiene sobre-excavación al momento que la excavadora realiza su trabajo. Esta sobre-excavación puede originar que el muro termine con un ancho mayor al estimado (puede ser más del doble), por la falta de cohesión en el suelo de Lima y por las vibraciones ocasionadas por la maquinaria. Se sugiere utilizar algún aditivo en la superficie del terreno (nivel 0.00); la cual, se filtrará por el suelo y evitará considerablemente el desmoronamiento durante la etapa de corte con maquinaria, sólo para el primer anillo, tales como uso de polímeros, resinas naturales, aceites de petróleo, cenizas-cal-cemento, cal o cemento. Estos productos nos brindan controlar la expansión (esponjamiento), reducir la plasticidad, incrementar la resistencia y disminuir la erosionabilidad. El costo de estos productos son menores en comparación del costo que cubriríamos si hubiésemos cubierto el volumen excedente con concreto (consultar con el especialista para mayor detalle).

Al existir sobre-excavación en el suelo durante el proceso de corte y perfilado de los paños, algunas constructoras para evitarse el costo del exceso de concreto, colocan planchas de tecnopor detrás de la malla de acero, es decir, en la cara contra-terreno del muro. Esta actividad no es recomendada por ningún estructural por los diversos problemas que traería este proceso posteriormente. Un primer

problema sería el falso contacto entre el muro y el terreno; el muro es diseñado para trabajar en total contacto con el terreno y esto generaría inestabilidad.

El segundo problema es la consecuencia ante un sismo; la rotura del tecnopor (material frágil) ante un sismo ocasiona un vacío ficticio entre el muro y el terreno (trabajan por individual) que el estructural no considera en su modelación. El tercer problema que se generaría es el desprendimiento del terreno o 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.

Es recomendable poner una pareja de topógrafos de manera permanente durante la actividad de corte y perfilado de paños del terreno, los cuales se encargarán de dejar puntos de referencia durante la excavación de paños y de esta forma evitar la sobre-excavación, tanto por parte de excavadoras como por el perfilado a mano. Esto reducirá enormemente el exceso de consumo de concreto acumulado, reduciendo los desperdicios. Adicionalmente, esta cuadrilla de topografía también puede indicar la posición correcta de las mallas de acero de una manera más precisa, de tal forma que desde la instalación se respete los recubrimientos de concreto, evitando re-trabajos de fierros o la excavadora para jalar la malla de acero con tal de llegar al recubrimiento correcto.

#### 7.3.1.14 Cangrejeras 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 cangrejeras, 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.

Otra consideración es verificar las especificaciones del desmoldante utilizado en el encofrado, ya que este podría generar que las burbujas no salgan al exterior con tanta facilidad y se queden atrapadas en la superficie del concreto.

### **7.3.2. Procedimiento Optimizado**

En el presente acápite se presentará de forma resumida el procedimiento constructivo de muros anclados, esta vez incluyendo todas las mejoras y recomendaciones ya mencionadas a lo largo de esta tesis. Con este procedimiento se obtendrán mejoras en calidad y en velocidad de producción, reduciendo los re-trabajos y permitiendo una mayor fluidez en el proceso constructivo.

- 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. También evaluar la opción de uniformizar el ancho de los muros 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 y permitir armar un tren de actividades adecuado con el menor costo.
- 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.



Fotografía 7.6 Procedimiento óptimo para muros anclados

Fuente: Elaboración Propia



Fotografía 7.7 Condiciones básicas de preparación del subsuelo

Fuente: Elaboración Propia

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



Fotografía 7.8. Perforación de cables e inyección de lechada

Fuente: Elaboración Propia

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



Fotografía 7.9. Utilización de técnicas para evitar el desmoramiento  
Fuente: Elaboración Propia

- 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 las mechas con plástico para evitar la oxidación.



Fotografía 7.10 Habilitación e instalación de malla de acero

Fuente: Elaboración Propia

- 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. Adicional, 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.



Fotografía 7.11: Garantización de un tipo de encofrado con Contención del concreto

Fuente: Elaboración Propia



Fotografía 7.12: Encofrado con contención de concreto  
Fuente: Elaboración Propia

- Realizar un vaciado de concreto de cada paño a un ritmo lento, de tal forma que se reduzcan los desplomes de muros. Las cangrejas 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.



Fotografía 7.13: Vaciado de concreto de cada paño  
Fuente: Elaboración Propia

- 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.



FOTOGRAFIA 7.14: Curado del muro recién vaciado

- 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.

### 7.3.3. Comparativo Económico Tradicional VS Optimizado

En el acápite anterior, se explicó paso a paso el proceso constructivo optimizado y todos los beneficios que nos proporcionaría desde el punto de vista productivo y de calidad, con respecto a un proceso constructivo tradicional. En el presente acápite se mostrará un comparativo económico, en el que nos mostrará que la mejora del proceso constructivo también conlleva ahorros económicos.

Item	Partida	Procedimiento Tradicional	Procedimiento Optimizado
1	Excavación Masiva	Uso de Rampa	Uso de Faja Transportadora
2	Perforación y colocación de anclajes	Tensado de muros tradicional	Reducción de tiempo de tensado
3	Corte de banqueteta y perfilado	Sobre-excavación	Uso de Op. De excavadora experimentado
		Altos desperdicios de concreto	Uso de cuadrilla de topografía
4	Encofrado de muro anclado	Cuadrilla de encofrado tradicional	Cuadrilla de encofrado Optimizado
		Encofrado tradicional con posible %desplomes	Optimización de tipo de encofrado
		Exceso de burbujas en superficie de concreto	Reducción de burbujas de aire
5	Vaciado de Concreto	Chute o cachimba de concreto tradicional	Picado de cachimba optimizado

Cuadro 7.12 Cuadro comparativo Económico Tradicional VS Optimizado

Fuente: Elaboración Propia

En el cuadro previo se observa un comparativo entre procedimientos tradicional y optimizado de acuerdo a 6 partidas. Ahora se analizará cada partida para verificar los costos y posible ahorro con cada mejora.

1. Excavación Masiva: Para la actividad de excavación, verificar los costos y posibles beneficios económicos con el uso del procedimiento optimizado (uso de faja transportadora) depende del proyecto. Mientras más grande en dimensiones y más profundo sea el proyecto, mayor será el retraso si se utiliza una rampa para eliminación masiva y por ende mayor el ahorro con faja transportadora; sin embargo, si el proyecto es pequeño, el costo de instalación de faja, mantenimiento, operación y velocidad de eliminación podría ser mayor a la pérdida por la rampa. La mayor dificultad de colocar la rampa y/o faja transportadora es su desarrollo y la pendiente que manda el proyectista. Ambos van a depender de las áreas de trabajo.

2. Perforación y colocación de anclajes: En el acápite 7.3.1.3 se presentó una propuesta para poder realizar tensados de muros en menor tiempo sin aumentar mucho la resistencia y costos de concreto.

3. Mediante el alargamiento de los cables de tensado, se redujo el fuerza de tensado en estos. Esto originó que se reduzca la cantidad de tendones por cable y a su vez reducir la fuerza de punzonamiento en el muro anclado, lo cual permite reducir la resistencia de concreto. Esto da implicancias en el costo.

Costos de Concreto		Total de paños	Dimensiones (Inc. Desperdicio 40%*)	Metrado	Costo	Costo Total
		Cantidad	3.50x5.00x0.25m	m3	Soles/m3	Soles
280(210 a 3 días)	Opción 1 (tradicional)	379.00	6.13	2321.38	323.00	749804.13
210 a 3 días	Opción 2 (optimizado)	379.00	6.13	2321.38	292.00	677841.50
					<b>AHORRO</b>	<b>71962.63</b>

Costos de anclajes	Total de paños	Cables en torón	L total	Costo	Costo Total	
	Cantidad	#	ml	Soles/ml	Soles	
Opción 1 (tradicional)	379.00	13	3068.00	397.08	1218228.44	
Opción 2 (optimizado)	379.00	7	3939.50	321.24	1265524.98	
					<b>AHORRO</b>	<b>-47296.54</b>

CONCRETO 71962.63  
 ANCLAJE -47296.54  
**AHORRO TOTAL 24666.08**

### Cuadro 7.13 Preparación y colocación de anclajes

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa, en el primer cuadro se considera un concreto más barato, ya que con el procedimiento optimizado se puede reducir la resistencia del concreto y por ende su costo. En el segundo cuadro se observa que hay gastos adicionales por un aumento en la cantidad de cables, sin embargo, estos gastos adicionales son compensados y aún dejan un margen a favor, además de permitir un tensado más rápido y un tren de actividades más fluido.

La brecha a favor de 24,666.08 soles es para un proyecto de 379 paños de muros anclados.

#### 4. Corte de banquetta y perfilado

Para la partida de corte de banquetta y perfilado, considerando lo indicado en el acápite 7.3.1.13, se podrá reducir el exceso de excavación y por ende el desperdicio de concreto en el vaciado de muros anclados. A continuación se realiza unos cálculos para verificar el ahorro de concreto por muro y para un proyecto de 379 paños de muros anclados.

ANCHO	LARGO	ESPESOR	VOL TEORICO(M3)
3.5	5	0.3	5.25

%DESP SALAVERRY	40%
%DESP CONTROLADO	30%
VOL REAL SALAVERRY(M3)	7.35
VOL REAL CONTROLADO (M3)	6.825
M3 DIF	0.525
SOLES/M3	323
AHORRO POR MURO	S/. 169.58
AHORRO POR 379 MUROS	S/. 64,268.92

Cuadro. 7.14 Cuadro de ahorro por cantidad de m3 de concreto ahorrado.

Fuente: Elaboración Propia

#### 5. Encofrado de muro anclado

En la partida de encofrado de muros anclados, se considera la optimización de la cuadrilla de encofrado, optimización en tipo de encofrado y reducción de cantidad de burbujas de aire atrapadas en la superficie de concreto.

Para la optimización de la cuadrilla de encofrado, se cambió un operario de la cuadrilla típica por un oficial. A continuación se presenta un análisis del ahorro en costos de este cambio:

COSTO (soles/HH)					
OP	OF	Ahorro (soles/HH)	HH/muro	Cant. Muros	Total
18.3	15.4	2.9	10.5	379	S/. 11,540.55

Cuadro 7.15. Modificación de cuadrilla para optimizar rendimiento

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en el cuadro, este cambio de personal en la cuadrilla típica generará un ahorro de 11540 soles para un proyecto de 379 muros anclados.

Para la optimización del tipo de encofrado, se considera que mediante una elección adecuada de tipo de encofrado, se puede reducir la cantidad de desplomes presentes en los muros anclados.

Se considera que para un tipo de encofrado no adecuado se generará un 20% de desplomes del total de los muros anclados. A continuación se presenta un análisis del ahorro que se produciría si se pudiera controlar estos desplomes mediante una mejor elección de encofrado.

	Cuadrilla	HH/Muro	Costo(soles/HH)	Costo (soles/muro)
OP picado	1	2	18.3	36.6
OP albañil	1	4	18.3	73.2
				109.8
Material y Equipos	Und	Cantidad(und/Muro)	Costo(soles/und)	Costo (soles/muro)
Cemento	Bls	1	18	18
Rotomartillo	HM	2	50	100
				118
			Costo por Muro	S/. 227.80

Cuadro 7.16: Costo comparativo con la optimización y uso adecuado de los muros

Fuente: Elaboración Propia

Cantidad total de muros	379
Cantidad de muros desplomados (20%)	76
Costo de reparación de desplomes	S/. 17,312.80

Cuadro 7.17: Costo total de la optimización y uso adecuado de los muros

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que para un proyecto de 379 muros anclados y considerando un 20% de desplomes del total de muros, el costo de reparación de estos desplomes implican 17312.80 soles, los cuales pueden ser evitados mediante un control de desplomes por elección de tipo de encofrado.

Para la reducción de cantidad de burbujas de aire atrapadas en la superficie de concreto se considera una adecuada vibración, golpeado con martillo de goma y un buen desmoldante, el cual permita que las burbujas de aire puedan deslizarse por la superficie de concreto.

A continuación se presenta un análisis del costo generado por reparación de exceso de burbujas de aire atrapadas en la superficie de concreto.

	Cuadrilla	HH/Muro	Costo(soles/HH)	Costo (soles/muro)
OP picado	1	1.5	18.3	27.45
OP albañil	1	1	18.3	18.3
				45.75
Materiales y Equipos	Und	Cantidad(und/Muro)	Costo(soles/und)	Costo (soles/muro)
Cemento	Bls	1	18	18
Rotomartillo	HM	2	50	100
				118
			<b>Costo por Muro</b>	<b>163.75</b> soles

Cuadro. 7.18. Costo generado por el exceso de reparación de exceso de burbujas de aire en la superficie de concreto

Fuente: Elaboración Propia

Considerando que este exceso de burbujas es en un 20% del total de los muros.

<b>Cantidad total de muros</b>	<b>379</b>
<b>Cantidad de muros con exceso de burbujas</b>	<b>76</b>
<b>Costo de reparación de exceso de burbujas</b>	<b>S/. 12,445.00</b>

Cuadro. 7.19. Costo total de reparación del exceso de burbujas

Fuente: Elaboración Propia

Si bien está considerando el costo para reparación de desplomes aparte del costo de reparación de exceso de burbujas, estos costos pueden ser menores ya que cuando se repara el desplome de un muro de paso se soluciona el problema del exceso de burbujas. Sin embargo, se considerará como si estos fueran problemas por separado por motivos didácticos.

#### 6. Vaciado de concreto

En la partida de vaciado de concreto se considera como optimización el picado de la cachimba de concreto mediante la generación de un plano de falla en la cachimba.

Proc. Tradicional	Cuadrilla	HH/Muro	Costo(soles/HH)	Costo (soles/muro)
OP picado	1	2	18.3	36.6
OP albañil	1	0.5	18.3	9.15
				45.75
Materiales y Equipos	Und	Cantidad(un	Costo(soles/und)	Costo (soles/muro)
Cemento	Bls	0.5	18	9
Rotomartillo	HM	2	50	100
				109
			Costo por Muro	S/. 154.75
Proc. Optimizado	Cuadrilla	HH/Muro	Costo(soles/HH)	Costo (soles/muro)
OP picado	1	0.5	18.3	9.15
OP albañil	1	0.5	18.3	9.15
				18.3
Materiales y Equipos	Und	Cantidad(un	Costo(soles/und)	Costo (soles/muro)
Cemento	Bls	0.5	18	9
Rotomartillo	HM	0.5	50	25
				34
			Costo por Muro	S/. 52.30

Cuadro 7.20. Comparación de costos entre el proceso tradicional y el proceso optimizado

Fuente: Elaboración propia

<b>Ahorro por Muro</b>	<b>S/. 102.45</b>
<b>Cantidad de muros</b>	<b>379</b>
<b>Ahorro por 379 muros</b>	<b>S/. 38,828.55</b>

Cuadro 7.21. Cuantificación de ahorro por muro y por total de muros

Fuente: Elaboración Propia

De lo que se puede observar, se puede generar un ahorro de hasta 38828 soles para un proyecto de 379 muros anclados considerando la optimización de picado de cachimba de concreto.

En resumen, se presenta el siguiente cuadro con todos los ahorros que podrían ser alcanzados mediante el uso de un procedimiento constructivo optimizado:

Item	Partida	Ahorro (S/.)
1	Excavación Masiva	-
2	Perforación y colocación de anclajes	S/. 24,666.08
3	Corte de banquetas y perfilado	S/. 64,268.92
4	Encofrado de muro anclado	S/. 11,540.00
		S/. 17,312.80
		S/. 12,445.00
5	Vaciado de Concreto	S/. 38,828.45
	<b>Ahorro por Optimización (para 379 muros)</b>	<b>S/. 169,061.25</b>
	<b>Ahorro por Muro Anclado</b>	<b>S/. 446.07</b>

Cuadro. 7.22. Ahorros que pueden alcanzarse con un procedimiento adecuado

Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO 8:

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1. CONCLUSIONES

-En la mayoría de proyectos de nuestro país se utiliza 3 operarios para realizar el proceso de encofrado de muros anclados. Sin embargo, mediante el análisis con la herramienta de cartas balance se ha identificado que uno de los 3 operarios realiza en su mayoría trabajos CONTRIBUTORIOS que son necesarios para el desarrollo de la actividad, más no genera mayor valor agregado. Por ello, se recomienda el reemplazo del operario por un oficial, el cual podría realizar la mayoría de las actividades asignadas al operario sin problemas.

- Con el uso de las herramientas *First Run Study* y Cartas Balance para la nueva cuadrilla se comprobó que al modificarla podemos obtener la misma calidad en encofrado de muros anclados y disminuir el costo de la mano de obra de la partida.

- Se identificó que en casi todas las cuadrillas analizadas existe un gran porcentaje del tiempo donde se realizan trabajos contributorios como transporte o acarreo de materiales lo que ocupa la mayor parte del tiempo. Por ello se recomienda realizar una construcción de muros anclados de forma ordenada, es decir, considerando siempre construir el muro más cercano al recién vaciado, dejando un paño intermedio libre por temas de estabilidad del talud. De esta forma se reduce las distancias de acarreo de materiales y por ende el tiempo de acarreo.

- La aplicación de *Lean Construction* se ha venido utilizando para crear un mejor ordenamiento y flujos de procesos, reduciendo pérdidas (materiales, mano de obra, equipos y maquinarias). Sin embargo, esta filosofía va más allá de un orden en los procesos; el siguiente paso es un análisis de cada proceso para la optimización de estos. Este último no se ha venido desarrollando de la forma deseada, pues, como podemos notar en el capítulo 7, se determinó una larga lista de lecciones aprendidas y propuestas de mejora en las actividades de la partida de muros anclados.

- Durante el diseño, se debe considerar 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.

También evaluar la opción de alargar la longitud de los cables de tensado y reducir la resistencia del concreto, de tal forma que se pueda acelerar el proceso de tensado y permitir armar un tren de actividades adecuado y fluido con menor costo.

- Durante la excavación de proyectos de gran profundidad, usar una faja transportadora, de tal forma que se pueda minimizar el retraso en la construcción de muros anclados en la zona de rampa. Además, es necesario evaluar con el proyectista de estabilización de taludes la posibilidad de apertura de paños de muros anclados más grandes, y tener una verificación topográfica constante durante el corte de bermas de seguridad, de tal forma que se evite sobre-excavación y se reduzca el desperdicio de concreto.

- Durante la colocación de acero, se debe considerar un relleno localizado manual con material propio en la base de los muros a encofrar y vaciar, de tal forma que se reduce los problemas de recubrimiento de acero. De la misma forma, es necesario utilizar a una cuadrilla de topografía para la verificación de los recubrimientos de acero, evitando los posteriores trabajos de jalados de malla de acero para restaurar el recubrimiento.

-Para este tipo de construcciones se debe utilizar una cama de arena en chaflán en la base del muro anclado, para reducir la aparición de cangrejeras en el encuentro de muros anclados (muros superior e inferior). Tener en cuenta una adicional, si la malla de acero estará enterrada bajo la tierra mucho tiempo, en este caso se debe considerar un forrado del acero para reducir su oxidación.

-Se recomienda utilizar un sistema de encofrado que garantice la contención del concreto uniformemente en todo el paño del muro (preferiblemente con puntales), de tal forma que se evita la aparición de desplomes. Adicionalmente, hay que 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 es necesario utilizar un desmoldante especial para el encofrado que disminuya la cantidad de burbujas de aire en la superficie de concreto.

- Para los trabajos construcción de muros anclados se debe utilizar excavadoras y no retroexcavadoras, pues estas tienen mayor potencia, capacidad de carga y se adecua más fácilmente al terreno para los trabajos requeridos.
- Durante el vaciado, se tienen que considerar utilizar una velocidad de vaciado lento y tener un buen vibrado, en especial en la zona cercana a los anclajes, donde el refuerzo de acero es más concentrado y en la zona de encuentro entre el muro que se está vaciando y el muro ya vaciado por arriba de este. También es indispensable considerar un vibrado adecuado, en conjunto con golpes con martillo de goma por toda la superficie del encofrado, de tal forma que se evita la generación de cangrejas y burbujas en la superficie del concreto; considerando también un buen desmoldante que permita la fácil salida de las burbujas de aire. Adicional, después de vaciado el muro y la cachimba de concreto, hay que utilizar una madera para generar un plano de falla en la cachimba mientras el concreto está aún en estado fluido, de tal forma que se facilitará el picado de la cachimba.
- Inmediatamente después del desencofrado, hay que realizar el picado y resane en la zona de las cachimbas y el amolado de los muros de concreto antes de continuar con la excavación por debajo de este muro. De esta forma se deja la menor cantidad de trabajos pendientes a realizar después, lo cual a futuro podría generar un gran retraso en programación y el uso de mayor cantidad de HH. Adicionalmente, se tienen que realizar el picado del encuentro muro-losa, para evitar acciones que puedan entorpecer el tren de actividades de vaciado de losas de sótanos.
- En el caso que haya edificios vecinos con sótanos, es importante considerar realizar la partida de picado de concreto por sobre-excavación del muro vecino; esto para evitar tener una partida que entorpezca el tren de actividades de construcción de losas de sótanos. Adicional, es imprescindible considerar utilizar maquinas como minicargadores con picotones para el picado esta actividad, ya que tienen un mayor rendimiento y podrían generar ahorro en costos.
- En los puntos 7.3.2 (Procedimiento Constructivo Optimizado) y 7.3.3 (Comparativo Económico del Proceso Constructivo Tradicional y Optimizado) se verifica que mediante la optimización de procesos indicada se pueden obtener ahorros de alrededor de 450.00 soles por muro construido, además de obtener mayor producción y mejor calidad sin la necesidad de realizar trabajos de reparación o resanes.

Se puede concluir que la optimización de los procedimientos constructivos no solo nos van a dar beneficios a nivel de producción y calidad, sino también en términos económicos, siendo estos ser hasta de 450 soles por muro anclado.

## 8.2. RECOMENDACIONES.

A continuación se presentan algunas recomendaciones para una adecuada toma de datos para la elaboración de cartas balance y *first run study*:

- Previo a la toma de datos en campo, se recomienda planificar y elaborar un formato con las actividades que posiblemente ocurran durante el proceso, dejando espacios en blanco para las actividades adicionales que se puedan observar. Estas actividades deben dividirse en TP, TC y TNC.
- El encargado de la toma de datos debería ubicarse en una posición que no interrumpa los trabajos de la cuadrilla; adicional, se debe verificar que el día de muestreo sea un día típico y que no presente anomalías que afecten los resultados del muestreo.
- Para una adecuada toma de datos, y tener información valiosa y pertinente correcta e involucramiento de los trabajadores es **muy importante** la siguiente información:
  - La creación de un ambiente laboral armonioso se recomienda no sólo para elevar la productividad de los trabajadores sino para crear un ambiente proclive al aprendizaje y que permita el flujo de información.
  - Ganarse la confianza de los trabajadores. Explicarles cual es el objetivo del muestreo y que la información no será utilizada en su contra. El muestreo es para evaluar procesos, no personal.
  - Una buena actitud. Hacerles entender a los trabajadores que ellos son los profesionales en su trabajo y que se respeta la forma en la que realizan su trabajo. Nosotros estamos para escucharlos y ayudarlos en caso se suceda algún error y sea informado oportunamente.
  - Ofrecer información esencial a las personas correctas en el momento correcto.

## **CAPÍTULO 9:**

### **BIBLIOGRAFÍA**

BLANCO, Antonio

- s/f *Conferencia sobre calzaduras.*  
Consulta: 16 de Octubre del 2013  
<http://www.abbings.com/descargas/calzaduras.pdf>
- s/f *Conferencia: ejemplo de diseño de muros anclados como elemento de concreto armado.*  
Consulta: 16 de Octubre del 2013  
[http://www.abbings.com/descargas/muro\\_anclado\\_diseno.pdf](http://www.abbings.com/descargas/muro_anclado_diseno.pdf)
- s/f *Conferencia: sistemas de estabilización del terreno para el caso de excavaciones de edificios con sótanos.*  
Consulta: 16 de Octubre del 2013  
[http://www.abbings.com/descargas/muros\\_anclados.pdf](http://www.abbings.com/descargas/muros_anclados.pdf)
- s/f *Conferencia: problemática del análisis de muros de sótano.*  
Consulta: 16 de Octubre del 2013  
[http://www.abbings.com/descargas/muro\\_sotano.pdf](http://www.abbings.com/descargas/muro_sotano.pdf)

BALLARD, Glenn

- 1999 *Improving work flow reliability.* Berkeley: University of California  
Lean construction: tools and techniques.  
Consulta: 14 de Agosto del 2014

BALLARD, Glenn

- 2000 *The last planner system of production control.* Birmingham:  
University of Birmingham Faculty of Engineering

BRIOSO, Xavier

- 2017 Synergies between Last Planner System and OHSAS 18001 - A  
general overview. *Building & Management*, 1 (2), pp. 24-35.

BRIOSO, Xavier

- 2015 a *Teaching Lean Construction: Pontifical Catholic University of Peru  
Training Course in Lean Project & Construction Management.*  
*Procedia Engineering*, 123 (2015) 85 – 93.

BRIOSO, Xavier

- 2015 b *Integrating ISO 21500 Guidance on Project Management, Lean  
Construction, and PMBOK.* *Procedia Engineering*, 123 (2015) 76 – 84.

BRIOSO, Xavier

2015 c El Análisis de la Construcción sin Pérdidas (Lean Construction) y su relación con el Project & Construction Management: Propuesta de Regulación en España y su Inclusión en la Ley de la Ordenación de la Edificación. PhD thesis. Technical University of Madrid, Spain, 2015.

BRIOSO, Xavier

2013 Integrando la Gestión de Producción y Seguridad. XII Congreso Latinoamericano de Patología y XIV Congreso de Calidad de la Construcción - CONPAT 2013. Cartagena, Colombia, 30 Sep-4 Oct 2013. Cartagena, Colombia: ALCONPAT Internacional.

BRIOSO, Xavier

2011 Applying Lean Construction to Loss Control. In 19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Lima, Peru, 13-15 Jul 2011.

BRIOSO, Xavier

2005 a Gestión integrada de la calidad, seguridad y salud. VIII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción CONPAT y X Congreso de Calidad en la Construcción - CONPAT 2005. Asunción, Paraguay, 19 Sep-21 Sep 2005. Asunción, Paraguay: ALCONPAT Internacional.

BRIOSO, Xavier

2005 b Gestión de Seguridad en Proyectos de Construcción según la Extensión del PMBOK Guide del PMI. Caso Español. Congreso: PMI Global Congress 2005 - Latin América, Panamá, Project Management Institute (PMI).

BRIOSO, Xavier; HUMERO, Antonio; MURGUÍA, Danny; CORRALES, Jaclyn; ARANDA; Johana

2017 Using Post-Occupancy Evaluation of Housing Projects to Generate Value for Municipal Governments. Alexandria Engineering Journal, Article in Press, <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2017.01.015>.

BRIOSO, Xavier; HUMERO, Antonio; CALAMPA, Sarah

2016 Comparing Point-to-Point Precedence Relations and Location-Based Management System in Last Planner System: A Housing Project of Highly Repetitive Processes Case Study. Procedia Engineering, 164 (2016) 12–19.

BRIOSO, Xavier; HUMERO, Antonio

2016 Incorporating Lean Construction agent into the Building Standards Act: the Spanish case study. Organization, Technology and

Management in Construction: an International Journal, 8 (2016), Issue 1, pp. 1511-1517.

BULEJE REVILLA, Kenny Ernesto

2012 *Productividad en la construcción de un condominio aplicando conceptos de la filosofía Lean Construction.* Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú

CARBAJAL, Giancarlo y Rafael CASTRO

2014 Fajas transportadoras: Una solución a excavaciones profundas. Revista Costos. Lima, mayo 2014

CABELLOS, Gustavo

2012 *Análisis comparativo de la estabilización de taludes mediante el uso de muros anclados y calzaduras en la construcción de edificaciones* Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú

COLL, Jorge

1996 *Muros-pantalla de concreto armado: solución alternativa para excavaciones profundas en la ciudad de Lima.* Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú

EDIFICA

s/f *Muros anclados.*  
Consulta: 24 de Noviembre del 2013  
[http://www.edifica.com.pe/plataforma/index.php?option=com\\_content&view=article&id=69:muros-anclados&catid=36:lean-construction&Itemid=57](http://www.edifica.com.pe/plataforma/index.php?option=com_content&view=article&id=69:muros-anclados&catid=36:lean-construction&Itemid=57)

FARRO AHUMADA, José Miguel

2013 *Alternativas para la construcción de sótanos y de transporte vertical en edificaciones.* Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú

KELLERTERRA

s/f *Anclajes Definitivos y Anclajes Provisionales KELLERTERRA. Anclajes.* Madrid: Miguel Yuste, pp 4-5 Consulta: 24 de enero del 2015  
<http://pdf.archiexpo.es/pdf/terratest/anclajes/61449-63976.html>

MURGUIA, Danny; BRIOSO, Xavier; PIMENTEL, Angela

2016 Applying Lean Techniques to Improve Performance in the Finishing Phase of a Residential Building. In 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, Jul 2016.

OLCESE, Manuel A.

- 2011 *Calzaduras y sostenimiento de excavaciones una mirada bajo la NTE E050.*  
Consulta: 16 de Octubre del 2013  
<http://www.sencico.gob.pe/gin/pdf/NTEE050octubre2011.pdf>

OLCESE, Manuel A.

- 2011 *Calzaduras y sostenimiento de excavaciones una mirada bajo la NTE E050.*  
Consulta: 16 de Octubre del 2013  
<http://www.sencico.gob.pe/gin/pdf/NTEE050octubre2011.pdf>

PIÑA LOZADA, Karina

- s/f *Cómo lograr un sistema de producción efectivo.* Consulta: 31 de Julio del 2014  
<https://pe.linkedin.com/in/karina-pi%25C3%25B1a-lozada-60064173>

RAMOS RÍOS, Álvaro Guillermo

- 2015 *Propuesta y análisis de alternativas constructivas para la mejora en el acabado de los muros anclados: caso de proyecto de edificaciones en la ciudad de Lima.* Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú

REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES

- 2011 Norma E.050 *Suelos y Cimentaciones.* Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
- 2011 Norma E.060 *Concreto Armado.* Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

RENGIFO REÁTEGUI, José Joao

- 2015 *Muros anclados en arenas, análisis y comparación de técnicas de anclajes.* Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

SABATINI, P.J.

- S/F *FHWA, Geotechnical Engineering Circular No. 4, Ground Anchors And Anchored Systems.* Washington D.C.: Office of Bridge Technology Federal Highway Administration

SUGEY, Ethelbina

- 2012 *Descripción teórica de las calzaduras y muros anclados en la grava de Lima.* Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú

## TERRATEST

S/F *Muro Anclado Cipreses.*  
Consulta: 24 de enero del 2015  
[http://www.terratest.3ccom.pe/docs/publication/9\\_Technical\\_Paper -  
Muro Anclado Cipreses.pdf](http://www.terratest.3ccom.pe/docs/publication/9_Technical_Paper_-_Muro_Anclado_Cipreses.pdf)

SERPELL, Alfredo y Rodrigo VERBAL

1990 *Análisis de operaciones mediante Cartas de Balance.* Santiago de Chile: Revista Ingeniería de Construcción, N°9, Julio-Diciembre 1990

GHIO, Virgilio

2001 *Productividad en obras de construcción: Diagnostico, crítica y propuesta.* Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial, Lima, Perú

OGLESBY, C., Parker, H., & Howell, G.

1989 *Productivity improvement in construction.* New York; McGraw Hill, USA.

SERPELL, Alberto

2002 *Administración de operaciones de construcción.* México: Alfaomega.

KOSKELA, Lauri

1992 *Application of the New Production Philosophy to Construction*

LEAN CONSTRUCTION INSTITUTE

2016 <http://www.leanconstruction.org>. Estados Unidos

DELGADO, Genaro

2012 *Proceso constructivo de una edificación con sótano utilizando muros anclados.*

Consulta: 24 de enero del 2015

[https://es.slideshare.net/DraguichMachaChamorro/67918297-  
calzadurasmantalla](https://es.slideshare.net/DraguichMachaChamorro/67918297-calzadurasmantalla)

CASTRO, Rafael/ RAMOS, Alvaro

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

ROUNDS, Jerald y Robert SEGNER,  
2011 Construction Supervision. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

SIHUAY, Natalia  
2016 Planificación colaborativa y medición simultánea de indicadores de seguridad y producción en el sistema last planner. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú

BALLARD, Glenn y Greg HOWELL  
1997 Implementing Lean Construction: Improving downstream performance. ALARCON, L., Lean Construction A.A Balkema. Rotterdam, Holanda, 1997, pp. 111-125,

