



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO  
DE MUROS ANCLADOS”**

**PRESENTADA POR EL BACHILLER  
RAFAEL VILLEGAS BRYAM**

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

**LIMA – PERÚ  
NOVIEMBRE, 2016**



## **DEDICATORIA**

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada día de mi vida; y a mis padres, por darme su cariño y apoyo incondicional siempre.

## **AGRADECIMIENTO**

A todas aquellas personas que estuvieron a mi lado en esta etapa universitaria: amigos, familiares; y en especial a todos los catedráticos de mi Alma Máter, por transmitirme el sin fin de sus conocimientos.



## RESUMEN

La tecnología del Muro Anclado se ha establecido en la ciudad de Lima como una de las preferidas para realizar los trabajos de estabilización de excavaciones profundas en zonas urbanas. Esto se debe principalmente a las características del suelo que presenta esta ciudad, especialmente en las zonas de mayor construcción en altura como Miraflores y San Borja, donde el suelo presenta parámetros de resistencia muy altos y no existe presencia de nivel freático. Estas condiciones son ideales para la aplicación del Muro Anclado, ya que permite la excavación secuencial mediante el uso de paneles intercalados.

El presente artículo muestra los aspectos constructivos, las consideraciones de diseño y los trabajos de monitoreo final de los muros anclados ejecutados en el proyecto "Centro Comercial Real Plaza- Salaverry", ubicado en el distrito de Jesús María en la ciudad de Lima, mediante los cuales se determinó como optimizar el proceso constructivo de muros anclados.

**PALABRAS CLAVE:** OPTIMIZACIÓN, MUROS ANCLADOS

## **ABSTRACT**

Anchored wall technology has been established in the city of Lima as a favorite for stabilization work deep excavations in urban areas. This is mainly due to soil characteristics presented by this city, especially in areas of higher construction height and Miraflores and San Borja, where the soil has very high resistance parameters and there is no presence of water table. These conditions are ideal for the application of the Wall Anchored by allowing sequential excavation using panels interspersed. These conditions are ideal for the application of the Wall Anchored by allowing sequential excavation using panels interspersed.

This article shows the constructive aspects, design considerations and the work of monitoring end anchored walls executed in the "Centro Comercial Real Plaza-Salaverry " project, located in the district of Jesus Maria in the city of Lima, by the which it was determined to optimize the construction process of anchored walls .

**KEYWORDS:** OPTIMIZATION, ANCHORED WALLS

## **INTRODUCCIÓN**

La razón de ser de toda industria es entregar al cliente un producto rápido, con buena calidad y a bajo costo; pero en la industria de la construcción esto es algo difícil de conseguir.

Alcanzar un equilibrio adecuado entre estos tres factores es complicado, para lo cual se debe desarrollar una planificación adecuada y un análisis de las actividades que se van a ejecutar. En nuestro caso es la actividad de encofrado y desencofrado de muros anclados con encofrados metálicos, donde encontramos que hay 3 puntos principales que se deben investigar en esta actividad, estos son la distribución de personal y 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.

La presente tesis tuvo como propósito hacer una comparación y análisis de como una estructura convencional puede mejorar. Conforme a nuestro objetivo, los resultados fueron positivos en la aplicación del First run Study, en la construcción de muros anclados, pues se concluyó el proyecto satisfactoriamente bajo los requerimientos de optimización de costo y tiempo. Se demostró, que el uso del First run Study en la ejecución de un proyecto, resulta beneficioso.

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

## ÍNDICE

Dedicatoria.....	I
Agradecimiento.....	II
Resumen.....	III
Abstract .....	IV
Introducción.....	V
Índice.....	VI

### Capítulo 1: Planteamiento del problema

1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Descripción del problema .....	2
1.3. Justificación .....	3
1.4. Alcances del Proyecto.....	4
1.5. Objetivos.	
1.5.1. Objetivo general.....	6
1.5.2. Objetivos específicos.....	7

### Capítulo 2: Marco teórico

2.1. Estructuras de sostenimiento de taludes en sótanos .....	8
2.2. Sistema LastPlanner.....	52
2.3. Técnicas de Optimización de Procesos .....	69

### Capítulo 3: Aplicación

3.1. Descripción de la obra .....	76
3.2. Aplicación de Sistema LastPlanner .....	77
3.3. Look Ahead Planning.....	78
3.4. Comparativo de Encofrados (maniobrabilidad “peso”, costos, calidad post-vaciado, tipos de encofrado y empresas participantes.....	81
3.5. Comparativo de maquinarias.....	82

## Capítulo 4: Problemas típico y mejoras al Proceso

4.1.	Optimización Modulación de muros anclados.....	89
4.2.	Optimización en el diseño de muros anclados (pedestal y ensanche de muro.....	92
4.3.	Tensado de los muros en menor tiempo .....	94
4.4.	Comparar acelerante de fragua vs alargar cable.....	95
4.5.	Apertura de paños consecutivos (bermas de seguridad.....	95
4.6.	Enterrado de malla de acero.....	99
4.7.	Colocación de bolsas de plástico a las mechas de acero.....	101
4.8.	Colocación de cama de arena en chaflán.....	104
4.9.	Generación de plano de fallas en cachimbas.....	105
4.10.	Amolado de muro.....	105
4.11.	Contra-flecha horizontal en el encofrado (mencionar el % de desplome en muros según la norma).....	107
4.12.	Cangrejeras alrededor del pase de cables.....	109
4.13.	Retraso en construcción de muros anclados en zona de rampa.....	109

## Capítulo 5: Resultados

5.1.	Análisis de cartas balance.....	114
5.2.	Resultados en Excel de productividad.....	128
CONCLUSIONES.....		132
RECOMENDACIONES .....		133
BIBLIOGRAFÍA.....		134
ANEXOS.....		135

## **CAPÍTULO I:**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 ANTECEDENTES**

Las cuadrillas usadas actualmente para la actividad de encofrado y desencofrado usando encofrados metálicos son armadas empíricamente basado en el diseño de la empresa que se contrató. La empresa se encarga de calcular la cantidad de pernos, alineadores, dimensiones de paneles, entre otros accesorios. Según lo que cree el maestro de obra, sería la cantidad de obreros adecuada, sin embargo esto no es necesariamente cierto, ya que en obra siempre se ve que hay una gran cantidad de trabajos rehechos o que hay tiempos muertos en los cuales los obreros no realizan ningún trabajo productivo o contributivo. Esto genera que haya pérdidas en tiempo y dinero, las cuales son siempre indeseables. Por tal razón es que en este proyecto se tomarán datos de los trabajos que se realizan en obra actualmente y se analizará que tan productivo se está siendo con los procedimientos actuales, se generará una cuadrilla óptima y se evaluará su desempeño en obra. Se observará las mejoras que este cambio podría traer. También se tomarán mediciones de los problemas que suelen ocurrir en obra con el uso de ambos encofrados y se darán 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 y experiencia del maestro de obra. Pero no existe un estudio de la capacidad de carga de la maquinaria, confiabilidad y disponibilidad, dimensiones normales (en reposo) y mientras trabaja (en actividad) ni el tipo de suelo que cortará y se desplazará. Adicionalmente, es indispensable encontrar un operador con amplia experiencia en este tipo de trabajo (corte y perfilado). 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 corte en exceso) lo cual permite no tener un sobre gasto al momento del vaciado de concreto (sin mucho desperdicio).

## **1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El objetivo de toda industria es el de entregar un producto rápido, con buena calidad y a bajo costo; sin embargo, en la construcción eso es algo difícil de lograr.

Lograr un equilibrio adecuado entre estos tres factores es complicado, para lo cual se debe desarrollar una planificación adecuada y un análisis de las actividades que se van a ejecutar. En nuestro caso es la actividad de encofrado y desencofrado de muros anclados con encofrados metálicos, donde encontramos que hay 3 puntos principales que se deben investigar en esta actividad, estos son la distribución de personal y 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 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. Para ello, se realizará un análisis de productividad utilizando la herramienta de cartas balance con las cuales se conformará una cuadrilla óptima, además se calcularán los rendimientos de una cuadrilla típica en la actividad de encofrado y desencofrado de muros anclados.

Con respecto a los encofrados, existen diversas marcas de encofrados metálicos que se pueden utilizar para muros, teniendo estos distintos diseños. Sin embargo, varios de estos encofrados demuestran generar ciertos problemas en obra, como puede ser pequeños desplomes, cangrejeras o facilidad de armado. Por ello se realizará una comparación entre diversos tipos de encofrados metálicos de diferentes marcas y modelos en la cual se evaluarán por diversos criterios especificados posteriormente.

Con respecto a las maquinarias, estas son utilizadas para cortar el terreno donde se va a colocar el muro, sin embargo, muchas veces no se utiliza la maquinaria adecuada para esta actividad, ya que en caso se corte el terreno más de lo necesario generaría que durante el vaciado de concreto, el cual se realiza contra terreno, se tenga que llenar un mayor volumen de concreto que el previsto anteriormente generando esto no solo una pérdida económica sino también posibles problemas de desplomes de los encofrados, ya que estos estarían soportando mayor empuje de concreto que el de diseño.

Por ello es que se realizará una comparación entre varios tipos de maquinarias mediante diversos criterios explicados posteriormente y así poder encontrar la maquinaria más adecuada.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

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. Caso contrario en el que se sigan utilizando los procedimientos actuales, no se estaría aprovechando al máximo el uso de los encofrados, ni los beneficios que el uso de estos nos da.

Las consecuencias de no realizar ciertas modificaciones y seguir con lo tradicional ocasionaría observaciones en el post-vaciado: cangrejas, desplomes o pandeos y falta de adherencia del concreto nuevo con el que se encuentra sobre él; en el encofrado: desalineamiento en los nivel 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.



## 1.4 ALCANCES DEL PROYECTO

En las siguientes líneas se mencionará algunos temas que no serán parte del Estudio de la investigación o consideraciones a tener en cuenta para mejorar algunas actividades.

Para proyectos con gran cantidad de muros anclados, existen muros con la misma armadura, con las mismas dimensiones y distribución de acero. En esta investigación no se mencionará la cuadrilla adecuada para la realización de la actividad de acero. Por esta razón, se recomienda trabajar con acero "listo para colocar en obra". Se conoce 3 empresas que se dedican a realizar este trabajo:

ACEROS AREQUIPA	Acero Dimensionado
SIDERPERU	Acero Habilitado
PRODAC	Acero a la Medida

En esta investigación no se diseñará el encofrado. Esto se justifica, pues se tendría que diseñar cada pieza del encofrado (llaves, alineadores, paneles, resistencia de los materiales, puntales, etc.), además de definir el tipo del encofrado a utilizar y ¿qué características debe cumplir? Se estudiará cuatro modelos de encofrados que se encuentran en el mercado de Lima. Las empresas que han sido evaluadas por su diseño son: UNISPAN, HARSCO, EFCO, ULMA, DOKA y LAYHER. Estas tienen sistemas propios; los cuales, quiere decir, pueden diseñarse de manera similar a otra empresa. Pero teniendo la misma idea y características. Por ello, se basó en cuatro modelos que eran parecidos tanto en el diseño como en características técnicas y que se pueda acomodar en el suelo de lima (gravoso).

El suelo de Lima es gravoso y con gran cantidad de rocas de canto rodado (propio del abanico de Lima). En especial, mientras va excavando encuentra homogeneidad en el suelo (según el nivel de profundidad donde esté ubicado) y mayor cantidad de gravas con mayor tamaño. Esto ocasiona una gran dificultad para el tránsito o acceso sobre este. Además, se prefirió trabajar en este tipo de suelo, pues los datos a obtener están ubicados en la obra que tiene este tipo de suelo, porque se notó muchas problemáticas en el proceso constructivo, considerando que las empresas ejecutoras de muros pantalla tienen experiencias almacenadas, y, adicionalmente, porque este suelo es donde más aparece en Lima y donde existe gran cantidad de proyectos de profundidades mayor a 15m con muros anclados.

Se trabajará los modelos de encofrados para muros de dimensiones estándar en el mercado de Lima. Estas dimensiones son de 3.5m x 5.0m. Esto permite equilibrar los modelos para poder realizar los comparativos en costos, mano de obra, rendimientos, trabajabilidad, entre otros.

Además, las empresas que se dedican a realizar estas perforaciones (TERRATEST y GEOTÉCNICA) sugieren un proceso de constructivo, el cual es usado con bastante éxito en la gran mayoría de construcciones de muros anclados. Este proceso consta en intercalar los paños según vaciado, pues si vaciamos 2 o 3 paños juntos, en un solo tiempo, podríamos tener dificultades tanto al momento de vaciar como en el desencofrado/post-vaciado (desplomes, irregularidades en la cara y cangrejas).

La información y toma de datos se realizaron en la construcción de un futuro Centro Comercial y este tipo de construcciones necesitan un área mayor de 15,000 m<sup>2</sup> para poder cumplir con los objetivos planeados por el cliente. El tránsito de vehículos (maquinaria pesada y ligeros) es pronunciado por la cantidad de actividades realizadas y el proceso que se sigue. Por ello, se limitó la investigación para obras de gran espacio de construcción como Hospitales, Centros Comerciales y parecidos.

Para la elección del tipo de equipo se estudiará las diferentes maquinarias pesadas que ofrece CATERPILLAR. El estudio nos revelará el tipo de máquina adecuada para el suelo; para poder trabajar y transitar sin dificultad, con un rendimiento superior a lo esperado; se verificará la capacidad, eficiencia y con dimensiones; los cuales, no interrumpa el tránsito ni tenga problemas para maniobrar. Además, se cuenta con información de estas máquinas por medio de un manual de rendimientos de CATERPILLAR y experiencia en campo. Además, estas maquinarias son las más comerciales en el mercado y son fáciles de adquirir (comprar o alquilar). La excavación del proyecto, por lo mismo que tiene gran área de excavación, se presta para poder subcontratar a una empresa que se dedique plenamente a este tipo de trabajos y que tenga años en el mercado. Esto, también, se justifica, pues el trabajo del subcontrato presiona a campo poder avanzar según su programación sin tener algún retraso. La excavación y eliminación del suelo debe seguir un programa planteado por el jefe de campo en conjunto con el contratista y el Ing. de Planificación.

El fondo de esta investigación no es la aplicación del Sistema Last Planner a la construcción del sistema de muros anclados, sino realizar un análisis del proceso constructivo de este y dar sugerencias para mejora de la productividad y soluciones a problemas típicos de obra relacionados a los muros anclados.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo General**

El objetivo general de este proyecto es el de formar una base de referencia para proyectos futuros en el que se realice trabajos similares de encofrado y desencofrado de muros anclados con encofrados similares a los modelos propuestos, la cual estará basada en análisis de productividad y sugerencia para la mitigación de problemas comunes que se encuentran en este tipo de actividad.

De esta forma se podrá hacer un mejor uso de los encofrados, sabiendo los puntos a favor y en contra de cada uno, tanto en temas de calidad como en costos y productividad, y así poder generar mayores ganancias con la menor cantidad de pérdidas en materiales y mano de obra.

Además, mediante un análisis de los tipos de maquinarias pesadas se podrá escoger cuales son las que nos proveen una mayor eficiencia y rendimiento según sus características.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

Los objetivos específicos de este proyecto son los siguientes:

- Comparación de los modelos de encofrados existentes en el mercado, además de realizar análisis de productividad de los procesos constructivos.
- Determinación de una cuadrilla óptima para este proceso constructivo y su evaluación de su desempeño en obra.
- Medición y análisis de problemas en obra ocurridos con ambos encofrados, además de sugerencias para la mitigación de estos problemas.
- Determinación de maquinaria pesada adecuada para este tipo de trabajo, en base a CATERPILLAR.

## **CAPÍTULO II:**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ESTRUCTURAS DE SOSTENIMIENTO DE TALUDES EN SÓTANOS**

Las estructuras de sostenimiento de taludes en construcción de sótanos son estructuras que se encargan de soportar los empujes laterales producidos por el suelo temporalmente. Este tipo de estructuras es temporal, ya que solo trabajan desde el momento en que se construye hasta que la estructura de sostenimiento definitiva entre en funcionamiento (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 unas 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 uso de información observacional y estadística. Por ello, esta investigación 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 piedras 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), el cual presenta deformaciones pequeñas.

Si bien, 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 investigación analiza sobre todo el sistema de muros anclados. No obstante, al ser las calzaduras un sistema que aún se utiliza con frecuencia en el Perú se explicará, mesuradamente, acerca de este sistema.

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.

## **2.1.1. Calzaduras**

### **2.1.1.1. Definición**

Las calzaduras son obras auxiliares provisionales en la construcción de sótanos, las cuales son el soporte lateral temporal de suelos cuando se realiza una excavación en un terreno colindante con un terreno vacío o una estructura vecina. El objetivo de las calzaduras es proteger construcciones vecinas (evitando asentamientos que generan daños estructurales) y evitar derrumbes de suelo sobre la excavación por fallas de inestabilidad del talud.

Las calzaduras soportan la carga vertical de la estructura vecina directamente y la transmite a estratos inferiores (hasta el fondo de la excavación), además, funcionan como muros de contención de gravedad soportando los empujes laterales del suelo.

El uso de calzaduras en Lima es tradicional, ya que se ha visto que al ser bien diseñadas y correctamente construidas, estas no fallan. Esto se debe también a que el suelo de Lima es una grava cohesiva rígida, siendo esto favorable para la construcción de las calzaduras. Si el suelo de Lima fuera un suelo suelto sería mucho más difícil construir una calzadura, debido a su baja capacidad portante y a los mayores empujes laterales que se generan en terrenos sueltos.

Las calzaduras en Lima se pueden realizar de manera satisfactoria debido a las buenas características de la grava de Lima y a la napa freática profunda, para ello se debe utilizar una mano de obra calificada, ya que el proceso constructivo conlleva una planificación y ejecución que depende íntegramente de la secuencia de excavación, construcción de calzadura y apuntalamiento.

Además, la construcción de calzaduras puede ser una actividad difícil y peligrosa, ya que el estado de la calzada puede variar rápidamente ante factores no considerados en su diseño, como lo es la presencia del agua, vibraciones no consideradas y sismos más fuertes de los previstos. Por ello, para su diseño se debe considerar el tipo de suelo, presencia de agua, vibraciones y la distribución de puntales.

La construcción de calzaduras es un método efectivo para transferir cargas verticales de estructuras vecinas y soporte de empujes laterales por parte de los suelos. Pero, por su dificultad de construcción, es recomendable no construir calzaduras cuando se tiene más de 3 sótanos, ya que se vuelve poco práctica. Existen casos en los cuales se han realizado calzaduras para más de 3 sótanos como el local de la SUNAT; en la av. Benavides, la obra del hotel Marriot, el local del Banco de la Nación; en el cruce de la av. Arequipa con la av. Javier Prado, con espesores en la base de hasta 4 metros. Sin embargo, en esos proyectos se comprobó la dificultad que presenta la construcción de calzaduras en excavaciones profundas. Además, las calzaduras también originan problemas con los vecinos no solo por posibles daños estructurales, sino que también invaden su propiedad al excavar por debajo de ella y construir las calzaduras.

En la actualidad en el Perú, se está utilizando desde hace unos años otro sistema de sostenimiento de suelos en sótanos, el sistema de muros pantalla o muros anclados; el cual, no presenta el problema de invasión de propiedad ajena y es posible realizar a mayores profundidades que con una calzada sin generar muchos problemas. Este otro sistema se explicará más adelante con detalle, ya que es este al que evalúa esta investigación con detalle.



### **2.1.1.2. Consideraciones del Diseño Calzaduras**

En este acápite no se verá netamente el diseño de calzaduras, ya que el tema de esta investigación no está dirigido a ello, sino algunas consideraciones que se utilizan en el diseño de estas que debería saber el ingeniero constructor, para así poder tener idea de algunas de las cosas más importantes durante el proceso constructivo, poder tener una noción de la situación en la cual se está trabajando y, a partir de ello, poder tomar decisiones adecuadas ante cualquier eventualidad.

Las calzaduras son muros de concreto ciclópeos, que se construyen por paños y que va aumentando de espesor conforme va aumentando su profundidad, los cuales se deben construir siguiendo una secuencia adecuada. Estas básicamente transfieren las cargas verticales provenientes de la cimentación vecina hacia niveles más profundos, sobrecargas, cargas laterales provenientes del suelo y cargas de sismo. Existen varios tipos de fallas de las calzaduras como una falla global del terreno, falla del suelo de fundación de la calzada, falla por deslizamiento, falla por volteo o falla interna de la calzada. Muchas de estas fallas dependen netamente del tipo de suelo sobre el cual se va a construir la calzada. Por ello, uno de los factores más importantes para el diseño de calzaduras es el tipo del suelo sobre el cual se va a calzar. Para ello, es necesario realizar un EMS; el cual, muestra las diversas características y propiedades del suelo sobre el cual se va a calzar. Sin embargo, el suelo de Lima es un suelo homogéneo, del mismo tipo por diversos sectores y usualmente con un nivel de napa freática profunda, por lo que los factores provenientes del suelo son parámetros, en su mayoría, fijos. Siendo los parámetros variables: la profundidad de excavación, sobrecargas vecinas y tolerancias de asentamiento.

Además, hay otros factores importantes de conocer como: la ubicación de las estructuras colindantes, el tipo de estructura, la cantidad de pisos que tienen, si cuentan con algún tipo de estructura subterránea como cisternas o cuartos de bombas y cuál es su nivel de fondo de cimentación.

A partir de ciertos criterios como: factores de seguridad de estabilidad interna, externa y global de la calzada, análisis de la estabilidad del talud, sobrecarga en el talud, análisis pseudo-estáticos y criterios sísmicos, se obtienen todos los factores necesarios para el diseño.

Para poder realizar cualquiera de estos criterios, la norma E.050 requiere los siguientes datos:

NOMBRE	SÍMBOLO
Profundidad	
Peso unitario	$\gamma$
Cohesión	$c$
Ángulo de fricción	$\phi$
Coefficiente Activo Estático	$K_a$
Coefficiente en Reposo Estático	$K_o$
Coefficiente Pasivo Estático	$K_p$
Factor de Reducción de Empuje Pasivo para $=0$	$R$
Coefficiente Activo Dinámico	$K_{as}$
Coefficiente en Reposo Dinámico	$K_{os}$
Coefficiente Pasivo Dinámico	$K_{ps}$
Coefficiente de fricción bajo la cimentación	$\tan \delta$

### 2.1.1.3. Proceso Constructivo

La construcción de calzaduras es un procedimiento secuencial. Se construyen anillos con una altura máxima de 2 metros, las cuales están compuestas por paños con un ancho máximo de 1 metro, tal como se indica en la fig. 2.1.1.3.a. El espesor de los paños del primer anillo debe ser igual al ancho de la cimentación por calzar, mientras que los espesores de los anillos siguientes tienen que ir aumentando en un 10% de la altura del anillo previamente colocado; además de tener las juntas entre paños en 2 anillos consecutivos desplazados medio paño para no coincidir.

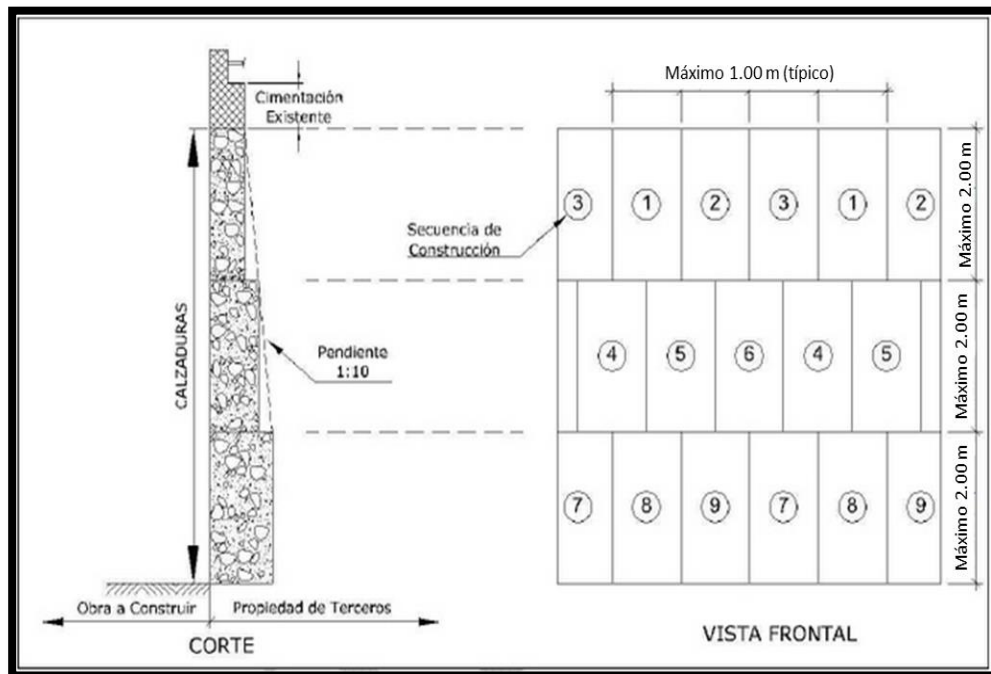


Fig. 2.1.1.3.a Elevación típica de calzadura; los números indican la secuencia de construcción de los paños de la calzadura. (N.T.E. E.050, 2009, editada)

Según la N.T.E. E.050, el concreto a utilizar será un concreto ciclópeo en proporción 1:10 (cemento: hormigón) con  $f'c$  mínimo de 80 kg/cm<sup>2</sup> con adición de piedra grande de hasta 8", siendo esta el 30% del volumen total de la mezcla.

El proceso constructivo típico de una calzada construida en la grava de Lima que se explica a continuación es de carácter indicativo, ya que este puede tener variaciones dependiendo de las particularidades de cada proyecto.

1. Excavación del terreno hasta el fondo de cimentación de la estructura aledaña. A partir de esto, se confirma la altura de diseño de las calzaduras.
2. Excavar hasta el nivel de la base de la calzada del primer anillo; la cual, va por debajo del nivel de la cimentación de la estructura aledaña.
3. Excavar nichos en el primer anillo, tal como se indica en la fig. 2.1.1.2.a. Primero se excavarán los nichos correspondientes al paño 1. Este procedimiento se realiza en 2 etapas. La primera etapa consiste en excavar la zona inferior del nicho, mientras en la segunda etapa se excava la parte superior; La cual, sería el soporte de la cimentación vecina.
4. Después de excavar los nichos se debe pañetear con una mezcla pobre agua-cemento todos los lados del nicho, de tal forma que esta soporten momentáneamente hasta que se termine de vaciar en estos paños.
5. Se encofra los nichos excavados y se procede con el vaciado de estos. El procedimiento de pañeteo, encofrado y vaciado de los nichos se debe realizar lo más rápido posible, ya que el muro a calzar debe estar el menor tiempo posible sin sostenimiento. Después, se puede proseguir con la excavación de los otros nichos del anillo.

6. Una vez terminado de construir todo el anillo, se tiene que esperar que el concreto de los paños alcance una resistencia mínima del 65% del  $f'c$  (alrededor de 5 días) para poder comenzar con la excavación del siguiente anillo
7. Este procedimiento se repetirá siguiendo la secuencia indicada en la fig. 2.1.1.3.a.

También, se debe tomar algunas consideraciones durante el proceso constructivo como colocar una mezcla seca agua-cemento entre la unión de la calzadura y la cimentación vecina, ya que el concreto al tener retracción puede generar que la cimentación se asiente, generando daños estructurales en la edificación vecina.

Además, se debe tener en cuenta que si se está calzando un muro en mal estado en la edificación vecina, se debería realizar con un concreto de fragua rápida, para así reducir la vulnerabilidad del muro.

Ante cualquier anomalía durante la construcción de las calzaduras es responsabilidad del ingeniero constructor de tomar todas las medidas preventivas necesarias como apuntalamiento de las calzaduras, para evitar que aparezcan fuerzas no previstas en el diseño, hasta evacuación de la zona de excavación, ya que durante todo este proceso se pone en riesgo muchas vidas humanas, siendo esto lo más importante a proteger.

## 2.1.2. Muros Anclados

### 2.1.2.1. Definición de Muros

Los muros anclados o muros pantallas son estructuras de sostenimiento de taludes, los cuales pueden ser temporales o permanentes, siendo estos temporales para el caso de sótanos. Estos 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.

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 daderos.

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. 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 grout en la zona interior de la perforación, formando un bulbo (fig. 2.1.2.1.1) que actúa como ancla del muro y permitiendo un tensado adecuado de los cables.

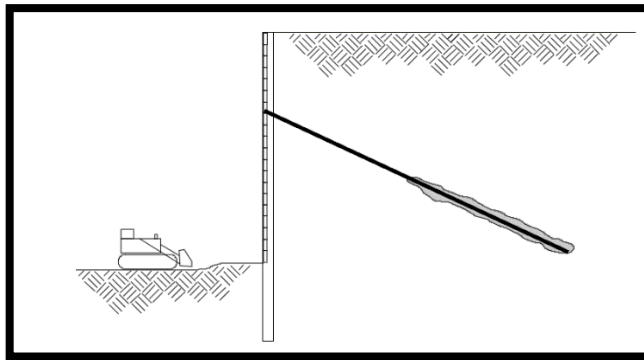


Fig. 2.1.2.1.1. Esquema de muro anclado (FHWA, 1999, Ground Anchors and Anchored Systems)

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 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).

En la longitud del bulbo se 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.

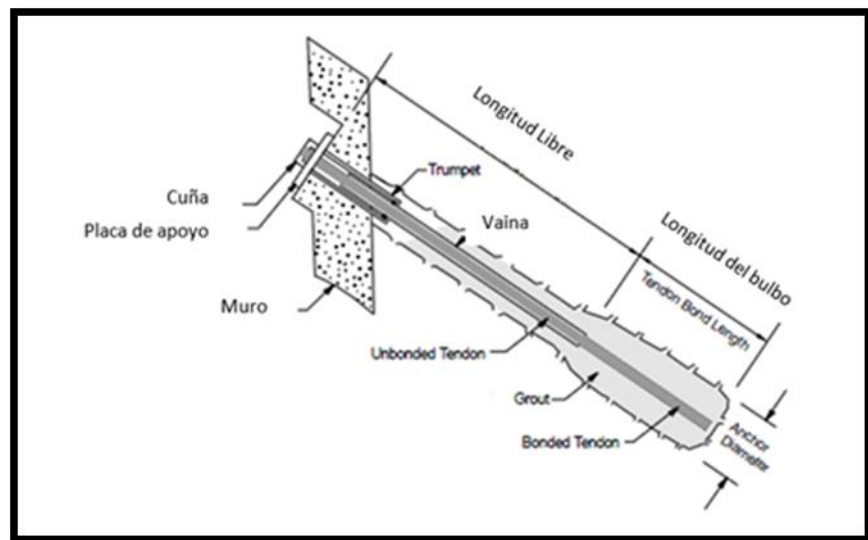


Fig. 2.1.2.1.2 Componentes del anclaje (FHWA, 1999, Ground Anchors and Anchored Systems, editado)

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. En la ciudad de Lima es más utilizado para la estabilización de taludes de sótano, ya que a diferencia de las calzaduras no presentan grandes problemas de construcción conforme se va excavando a más profundidad. Esto es debido a que estos 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. Esto también soluciona el problema de invasión de terreno vecino.

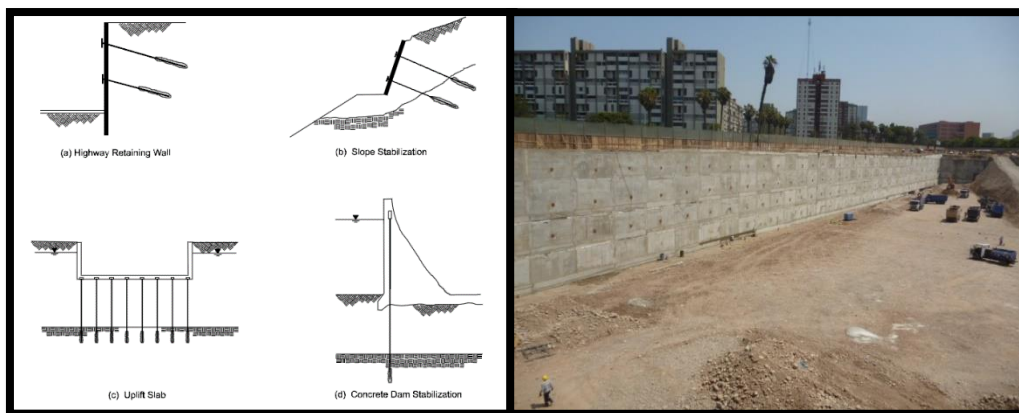


Fig.2.1.2.1.3 A la izquierda se muestra las diversas aplicaciones de muros anclados (FHWA, 1999, GroundAnchors and AnchoredSystems), a la derecha se muestra el uso de muros anclados en sótanos.

### **2.1.2.2. Consideraciones para el diseño**

En este acápite, al igual que en el caso de calzaduras explicado anteriormente, no se verá netamente el diseño de muros anclados, ya que esto no se encuentra dentro de los alcances de esta investigación.

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.

#### **2.1.2.2.1. 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. 2.1.2.2.1).

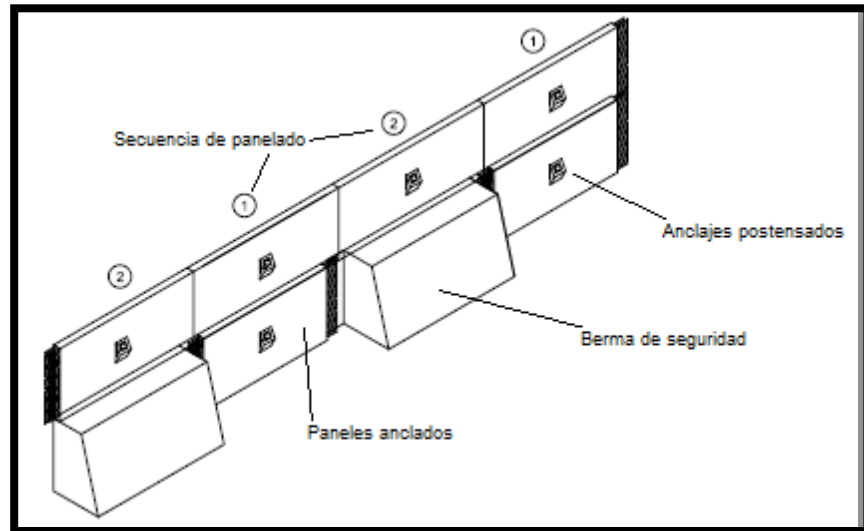


Fig. 2.1.2.2.1 Secuencia de ejecución de muros anclados y Berma de seguridad.  
(bibliografía)

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, esto 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 horizontales y verticales 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 pueden ser bastante generosas, 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: etapa inicial, intermedia y final.

La etapa inicial es la etapa en la cual 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 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. 2.1.2.2.2 A la izquierda se puede observar el estado inicial de los paños (ABBINGS 2010, Conferencia de muros anclados). A la derecha se puede observar los muros del segundo anillo se encuentran en el estado inicial, mientras los muros del primer anillo se encuentran en el estado intermedio.

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.

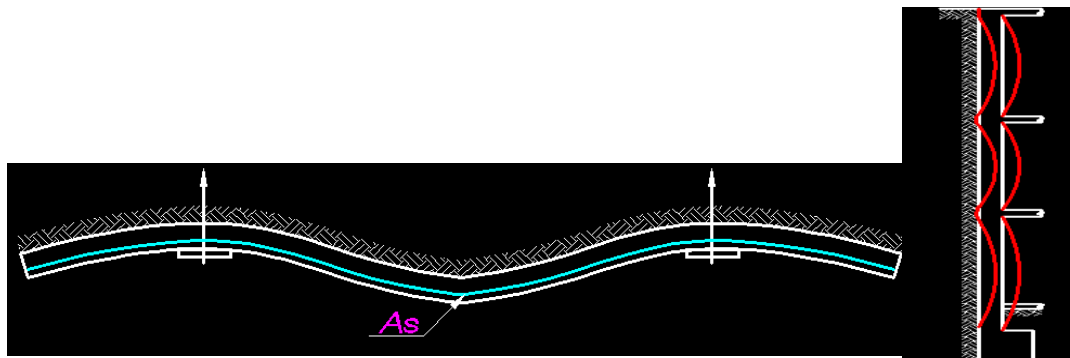


Fig. 2.1.2.2.3 Comportamiento de muros en etapa intermedia (izquierda) y final (derecha). (ABBINGS 2010, Conferencia de muros anclados)

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.

#### 2.1.2.2.2. 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. 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. 2.1.2.2.2.1).

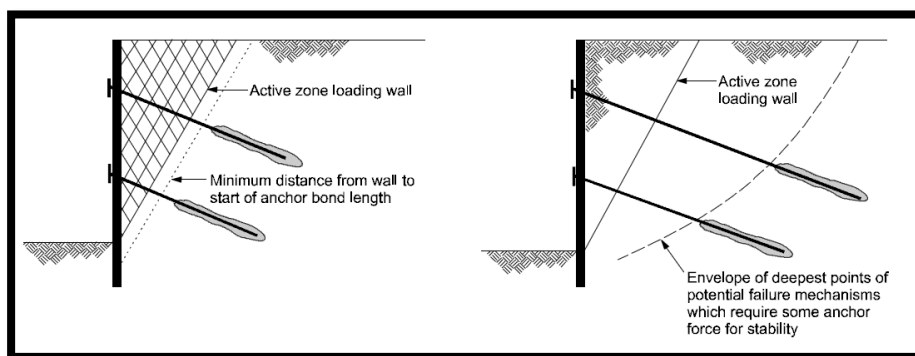


Fig. 2.1.2.2.2.1. El bulbo se ubica fuera de la zona potencial de falla del talud (FHWA, 1999, Ground Anchors and Anchored Systems).

Esto quiere decir que se tiene que investigar el sitio donde se planea realizar las excavaciones para los sótanos. A partir de ello, es que se podrá saber 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. También se tiene que estudiar todas las posibles condiciones de falla que pueden ocurrir en un muro anclado. En la figura 2.1.2.2.2 se puede observar algunas de las condiciones de falla de muros anclados consideradas por la FHWA (Federal Highway Administration).

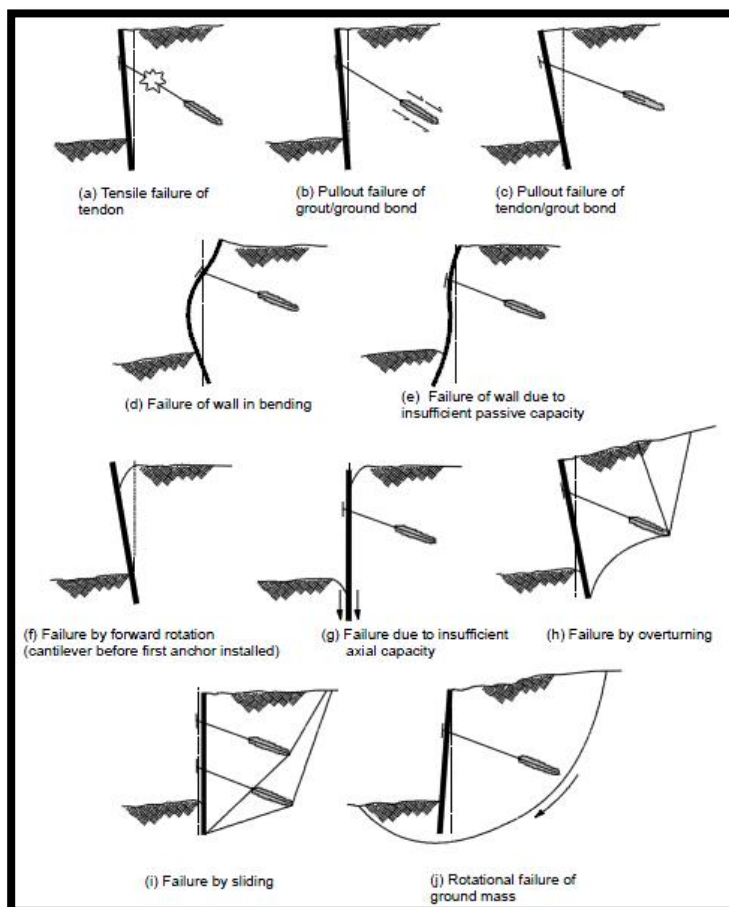


Fig. 2.1.2.2.2 Condiciones de falla de un muro anclado (FHWA, 1999, Ground Anchors and Anchored Systems).

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. 2.1.2.2.3).

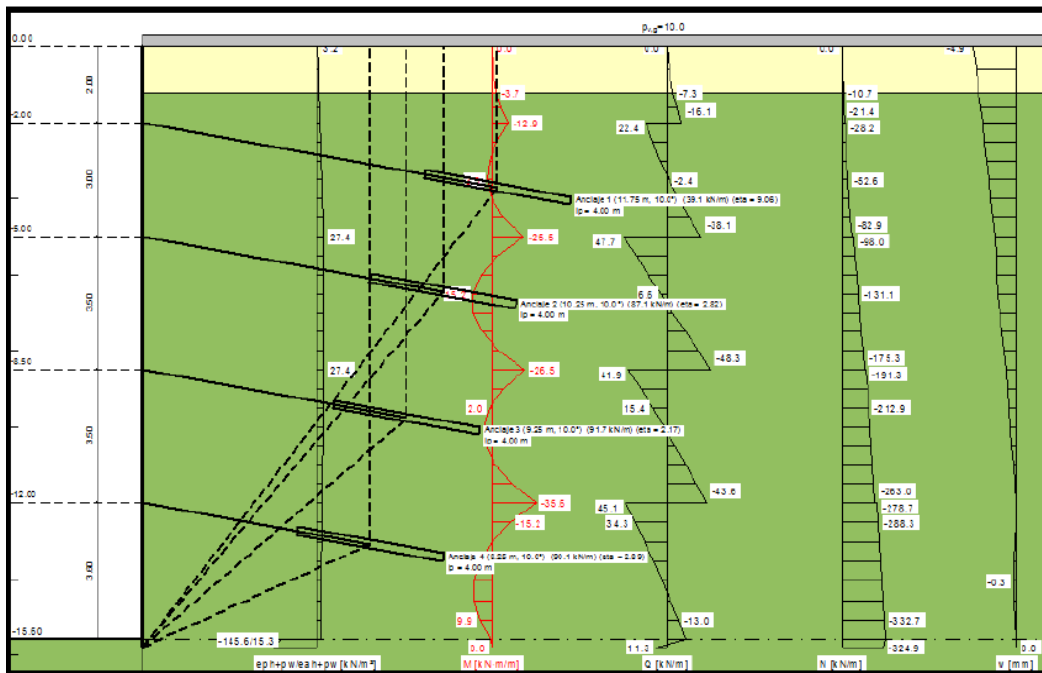


Fig. 2.1.2.2.3 Diseño en el programa GGU-RETAIN del muro anclado mediante el método de equilibrio límite (bibliografía).



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. Estos cálculos 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. 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.

#### **2.1.2.3. Proceso constructivo de Muros Anclados**

La construcción de muros anclados es un proceso secuencial en el cual se construyen anillos de 3 a 3.5 metros de altura, los cuales a su vez se dividen en paños de 4.5 a 5 metros de ancho, los cuales se irán construyendo siguiendo la secuencia mostrada en la figura 2.1.2.2.1.

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 capítulo 4, además en ese mismo capítulo se mencionarán sugerencias y soluciones para estos problemas comúnmente encontrados. Finalmente, en el capítulo 5 se presentará un procedimiento constructivo optimizado que podrá evitar que se generen los problemas mencionados en el capítulo 4.

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



Fig. 2.1.2.3.1 Excavación masiva del primer y segundo anillo con bermas de seguridad.

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.



Fig. 2.1.2.3.2 Perforación, colocado de cables metálicos e inyectados de grout.

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.

5. El corte se realiza utilizando excavadoras o retroexcavadoras, 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.



Fig. 2.1.2.3.3 A la izquierda, se observa una retro excavadora cortando las bermas donde se va a construir los muros. A la derecha, se observa obreros perfilando manualmente el talud.

6. 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.

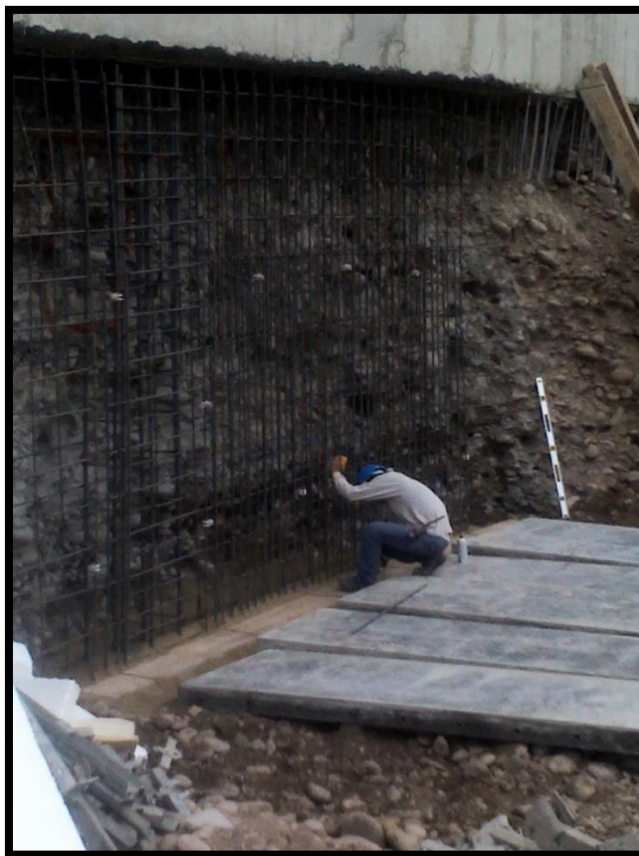


Fig. 2.1.2.3.4 Instalación de mallas de acero en los muros, además, se puede apreciar los paneles fenólicos listos para colocar.

7. Luego se procede con la instalación de los encofrados. Como este procedimiento es estudiado en esta investigación, 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.





Fig. 2.1.2.3.5 Colocación de tabla de madera de apoyo para el encofrado.

- 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.



Fig. 2.1.2.3.6. A la derecha, se observa las puntales apoyados en los paneles. A la izquierda, se observa los puntales apoyados en los bloques de concreto.

- 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.



Fig. 2.1.2.3.7. Maquinaria Merlo trasportando bloques de concreto.

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



Fig. 2.1.2.3.8 Puntales apoyados en bloques de concreto enterrados.

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

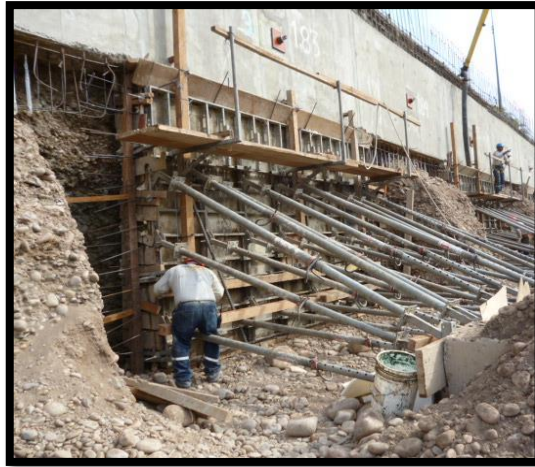


Fig. 2.1.2.3.9 En la parte lateral izquierda del muro se puede apreciar la madera de contención ya colocada. En la parte superior del muro se puede apreciar el chute de madera.

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.

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





Fig. 2.1.2.3.10. Vaceado del concreto en los muros.

9. 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.

10. Después del desencofrado de los muros, se procede con el curado de estos.



Fig. 2.1.2.3.11 Curado del concreto de los muros.

11. 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.

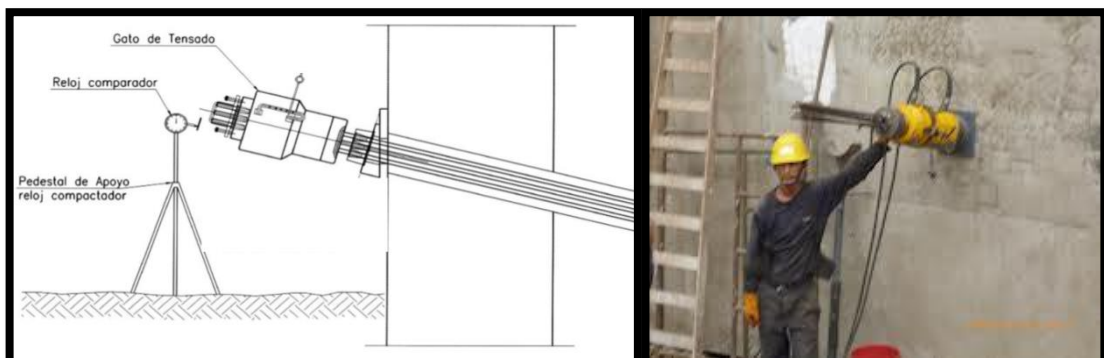


Fig. 2.1.2.3.12 Tensado de los cables metálicos.

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 no se corten las cabezas del anclaje y en el terreno contiguo se realicen excavaciones, cuando se corten los cables aún tensionados estos se moverán violentamente mientras pierden la tensión interna que tienen, siendo esto algo muy peligroso.

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



Fig. 2.1.2.3.13 En la imagen se muestra 4 anillos de muros anclados.

Este proceso constructivo explicado en la parte de arriba presenta la forma como se construye tradicionalmente los muros anclados, sin embargo, es responsabilidad del ingeniero residente de tomar todas las medidas de seguridad necesarias para que se lleve a cabo un trabajo sin problema alguno.

Siempre se tiene que tener en mente la calidad de los muros y la seguridad de los trabajadores, ya que de esto dependen muchas vidas.

### **2.1.3. Análisis Comparativo: Muro Anclado – Calzadura**

Se tomará en cuenta no solo la comparación costo-tiempo, sino también el factor seguridad, muy importante hoy en día. Para ello vamos a tomar como ejemplo la obra de Edificio de Oficinas GRADE en Barranco – Lima.

- **ANÁLISIS DE COMPARACIÓN ECONOMICA**

Para el análisis de comparación debemos tener presente que el Muro Anclado o Pantalla es definitivo, por lo que el costo en las partidas de concreto, Acero de refuerzo y encofrado, no varía tanto en Muro Pantalla como en la ejecución de los muros de contención o placas ejecutadas posteriormente a las Calzaduras Convencionales.

El cuadro N° 01, muestra la relación de partidas que inciden en el costo de Muro Anclado o Pantalla para efectos de comparación con calzaduras:

1.000	MURO ANCLADO O PANTALLA	
1.10	Anclajes para muro pantalla	glb
1.20	Pañeteo Agua - Cemento	m <sup>2</sup>
1.30	Demolición de cachimbas	und
1.40	Perfilado terreno manual	m <sup>2</sup>
1.50	Concreto f'c= 280 kg/cm <sup>2</sup> en pedestal de Muro pantalla	m <sup>3</sup>
1.60	Encofrado y desencofrado de pedestal	m <sup>2</sup>
1.70	Acero de refuerzo en zona de anclaje	kg
1.80	Demolición de pedestal y resane	und

**Cuadro N° 01**

El cuadro N° 02, muestra la relación de partidas que inciden en el costo de Calzaduras Convencionales para efectos de comparación con calzaduras:

1.000	CALZADURA CONVENCIONAL	
1.10	Excavación manual en calzaduras	m <sup>3</sup>
1.20	Acarreo y eliminación de material excedente	m <sup>3</sup>
1.30	Concreto en Calzaduras	m <sup>3</sup>
1.40	Encofrado en calzaduras	m <sup>2</sup>
1.50	Demolición de cachimbas	ml

**Cuadro N° 02**

PRESUPUESTO DE EJECUCION DE CALZADURAS CONVENCIONALES						
	PARTIDAS	UND	METRADO	P.U	PARCIAL	PARCIAL US\$
1.10	Excavación manual en calzaduras	m <sup>3</sup>	480.94	28.00	13,466.32	
1.20	Acarreo y eliminación de material excedente	m <sup>3</sup>	625.22	12.00	7,502.66	
1.30	Pañeto Agua Cemento	m <sup>3</sup>	532.70	5.00	2,663.50	
1.40	Concreto en Calzaduras	m <sup>3</sup>	480.94	200.00	96,188.00	
1.50	Encofrado en calzaduras	m <sup>2</sup>	624.68	30.00	18,740.40	
1.60	Demolición de cachimbas	und	128.00	27.90	3,571.20	
					<b>142,132.08</b>	<b>TC= S/. 3.00</b>
				10%	<b>14,213.21</b>	
			<b>TOTAL</b>		<b>156,345.29</b>	<b>52,115.10</b>

- Costo de calzada presupuestado para la Obra: Edificio de oficinas GRADE- Barranco

PRESUPUESTO DE EJECUCION MURO ANCLADO O PANTALLA					
PARTIDAS	UND	METRADO	P.U	PARCIAL	PARCIAL US\$
1.10 Anclajes Post-Tensados (Inc. IGV)	Gib				69,487.72
1.20 Perfilado de terreno manual	m <sup>3</sup>	624.68	5.89	3,679.37	1226.46
1.30 Pañeto Agua Cemento	m <sup>3</sup>	532.70	5.00	2,663.50	887.83
1.40 Acero de refuerzo en zona de Anclaje	Kg	246.78	5.37	1,325.21	441.74
1.50 Demolición de cachimbas	und	64.00	64.50	4,128.00	1376.00
				11,796.07	
			10%	1,179.61	393.20
					<b>TC= S/. 3.00</b>
			TOTAL		<b>73,812.95</b>

- Costo de partidas que inciden en los Anclajes ejecutados en la Obra: Edificio de oficinas GRADE- Barranco

***“La diferencia de costo es de \$ 21,697.85, para un área total de encofrado de Muro Pantalla de 791.38 m<sup>2</sup> y una altura promedio de 7.00 m (2sotanos)”***

#### • ANÁLISIS DE COMPARACIÓN TIEMPO DE EJECUCIÓN

Para el análisis comparativo de se tomara en cuenta los tiempos ejecutados reales de obra en Muros Anclados o Pantalla, comparándolo con tiempos de ejecución para Calzaduras Convencionales programados inicialmente para una misma obra. Para el análisis de comparación se debe tener en cuenta que el tiempo a comparar en Calzaduras convencionales, es el tiempo de ejecución de las Calzaduras más el tiempo de ejecución de los muros de contención perimetral eso placas hasta el nivel +0.00; Esto debido a que el Muro Andado o Pantalla es definitivo y cumple la función de muros de contención perimetrales o placas.





**Foto N° 01**



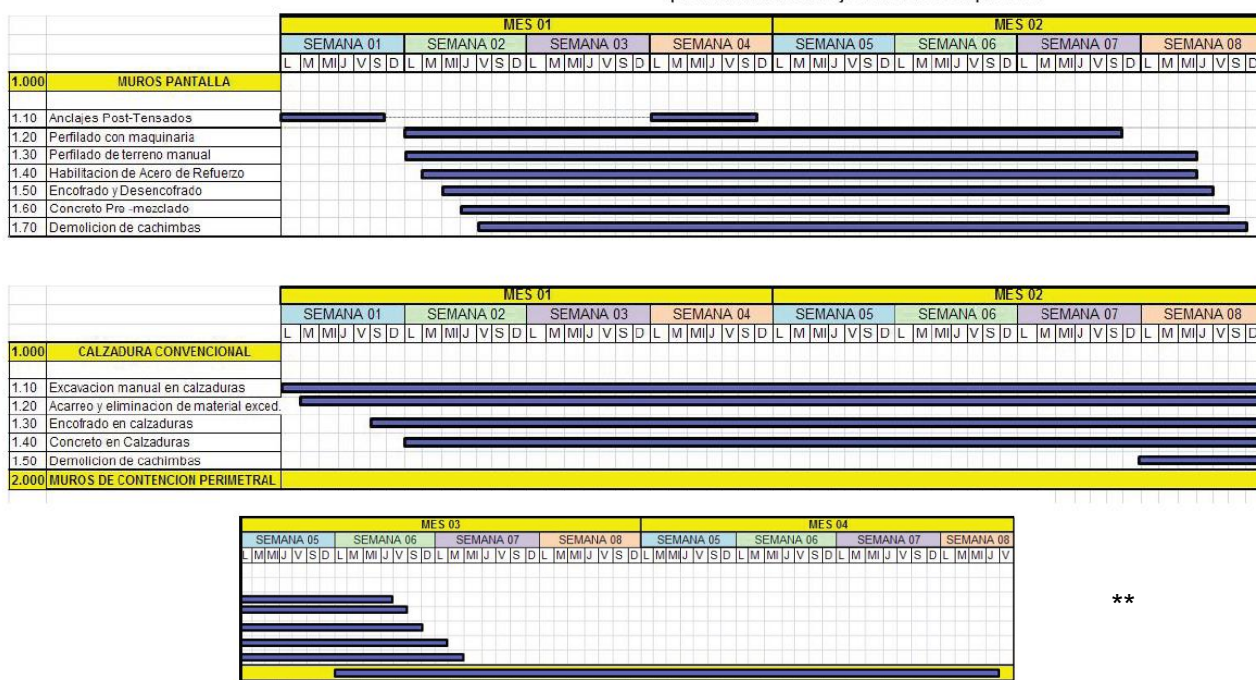
**Foto N° 02**

La foto N° 01 y 02, muestran el proceso constructivo en la ejecución del Muro Anclado o Pantalla definitivo y Calzadura Convencional.

Se puede apreciar el % de Avance entre uno y otro método, mientras que el calzaduras se tiene una ejecución por cajones alternados para luego de terminado este proceso dar inicio recién al muro de contención o placas definitivas de abajo hacia arriba.

En los muros pantalla se ejecuta el muro definitivo de arriba hacia abajo, por lo que el tiempo de ejecución es menor.

El cuadro N° 03, Muestra la comparación de Tiempo de Ejecución entre Muro Anclado o Pantalla y Calzaduras Convencionales, el cual muestra las partidas que intervienen en la ejecución de cada proceso.



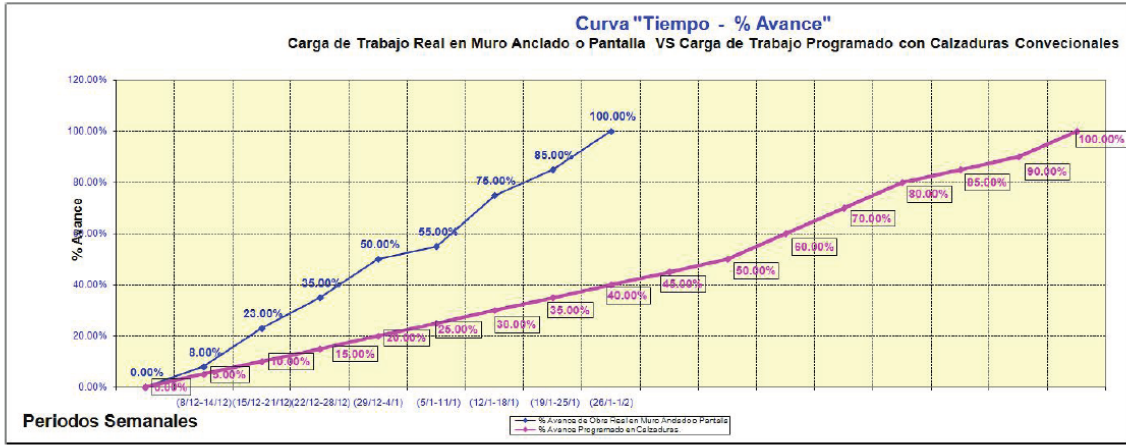
Cuadro N°03

## RESULTADO

El costo en Muro anclado o Pantalla es mayor al costo empleado en Calzaduras Convencionales.

Este costo adicional según la comparación de diversas obras tiende a aumentar cada vez en mayor proporción de acuerdo al número de sótanos o número de anillos de Anclaje.- La diferencia de costo por m2 entre Calzaduras Convencionales y Muro Anclado o Pantalla es de \$ 27.42, para un área total de encofrado de Muro Pantalla de 791.38 m2 y una altura promedio de 7.00 m (2sotanos).





**Cuadro N° 04**

El cuadro muestra una curva comparativa Tiempo - % de Avance entre Calzaduras Convencionales y Muro Anclado o Pantalla.

El tiempo de ejecución utilizando Calzaduras Convencionales Oscila alrededor del doble del tiempo empleado en la ejecución del Muro Anclado Pantalla.

● **COMPARACIÓN SEGURIDAD EN OBRA:**

Definitivamente la seguridad en obra juega un papel fundamental en la buena y correcta ejecución de toda Obra, pero de la misma manera este factor se encuentra íntimamente ligado al costo de la misma, debido a que este costo a pagar en caso de suceder alguna falla en este tipo de construcciones es muy alto, tanto económicamente y más aún si ésta atenta contra la vida de cualquier trabajador. Factores a tener en cuenta antes de la ejecución con Calzaduras Convencionales:

- a) Tipo de Suelo.
- b) Altura de excavación en Calzaduras.
- c) Altura de Edificación Aledaña.

d) Antigüedad de la Edificación Vecina. El cuadro N° 04, muestra una comparación del Riesgo en procesos constructivos entre Calzaduras Convencionales y Muro Anclado o Pantalla.

CALZADURAS CONVENCIONALES	MURO ANCLADO O PANTALLA
1.- Riesgo de asentamientos diferenciales.	1.-No se profundiza debajo de cimentación vecina.
2.- Riesgo de derrumbes en excavaciones por suelo inestable o presencia de humedad en viviendas aledañas	2.- Se puede ejecutar en cualquier tipo de suelo incluso en presencia de napa freática alta.
3.- Concreto hecho en obra.	3.- Ejecución de Muro definitivo con concreto premezclado.
4.- Mayor control en proceso constructivo.	4.- Solo control visual diario.
5.- Riesgo de fisuras y rajaduras en viviendas aledañas, posibles paralizaciones de obra por daños vecinos.	5.- No afecta viviendas vecinas

**Cuadro N° 04**



**Foto N° 01**



**Foto N° 02**

*La Foto N° 01, muestra el proceso constructivo con Muros Anclados o Pantalla el cual es ventajoso en el factor tiempo, pero más importante aún lo es el factor seguridad que da este proceso constructivo el cual no afecta de manera alguna a las construcciones aledañas y es constructivamente seguro.*

*La Foto 02, muestra el proceso constructivo con calzaduras convencionales, se puede apreciar una altura aprox. de 7.2 m de calzada debajo de una edificación aledaña, en la cual se corre el riesgo de daños como rajaduras en pisos y muros ocasionados por asentamientos diferenciales en calzada; El factor seguridad en este tipo de construcciones es mínimo y aumenta de acuerdo a la altura y tipo de edificación aledaña.*

## **CONCLUSIÓN:**

Es mejor emplear muros anclados antes que calzaduras, ya que el proceso constructivo de muros anclados se desarrolla en menos tiempo y con una mayor seguridad en obra.

Si bien es cierto las calzaduras son menos costosas, existe riesgo de correr accidentes u ocasionar daños a las edificaciones vecinas por lo que el costo final podría ser mayor de lo presupuestado.

Por lo tanto: usar muros anclados.

## 2.1.4. Propuestas de mejoras constructivas de los muros anclados

### 2.1.4.1. Vibrado

Como sabemos la función principal del vibrado es eliminar el aire atrapado dentro del concreto, para evitar que las burbujas de aire originen las famosas cangrejeras. Además el vibrado permite una mejor unión entre el concreto y el acero, también logra una mejor colocación del concreto dentro del encofrado.

Por ello es sumamente importante realizar un correcto vibrado. La manera correcta de vibrar es introduciendo la aguja verticalmente en el vaciado de concreto (Ver Fig. 2.1.4.1.1). Dependiendo del slump que posea el concreto se mantendrá la aguja en la misma posición (Ver Tabla 2.1.4.1) y se la retirará a velocidad de 3m/seg. Luego de retirar la aguja, se procede a moverla horizontalmente aproximadamente 5cm y se la vuelve a insertar en el vaciado.

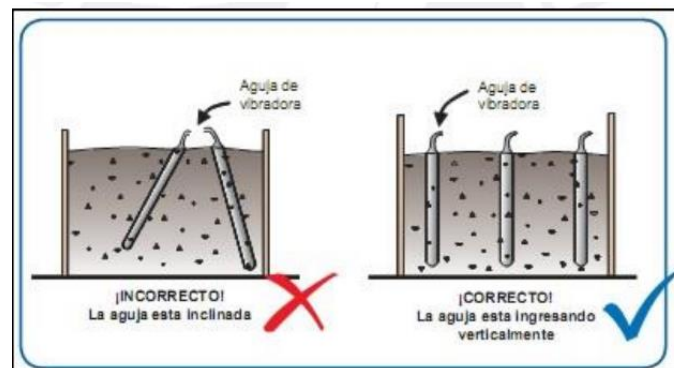


Figura 2.1.4.1.1 Forma Correcta de Vibrar

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

Tabla 2.1.4.1: Slump vs Tiempo de Vibrado



Figura 2.1.4.1.2. Cangrejas

#### 2.1.4.2. Limpieza de paneles de encofrado

Para la limpieza de los paneles de encofrado se emplean "desmoldantes". Éstos son aditivos químicos que sirven para remover los restos de mezcla de concreto de las superficies de los paneles, ya que estos restos son los culpables de la aparición de burbujas en el concreto que será vaciado.

Por el buen desempeño demostrado en numerosas obras, el desmoldante ALUMI-CON-DE de la empresa NOX-CRETE, es una buena elección para este tipo de trabajos. Usando este desmoldante la incidencia de observaciones de burbujas es (en promedio) solo un 4%. Es sumamente eficaz.



*Figura 2.1.4.2. Demostración en campo del uso de ALUMI-CON-DE*



### 2.1.4.3. Tratamiento de Cachimbas

Para el vaciado de los muros anclados se utiliza una estructura conformada por tablonces de madera llamada chute. Se instala en la parte superior del encofrado formando un plano diagonal. De esta forma servirá de ayuda para transportar e introducir por gravedad el concreto premezclado dentro del encofrado. Para asegurarnos que el concreto llene completamente el molde del encofrado, el chute se instala de tal manera que su parte más alta esté 5cms arriba del nivel de la unión de los muros (Ver Fig. 2.1.4.3.1). Se le recubre con una capa de plástico para evitar que el concreto pueda adherirse a los tablonces.

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

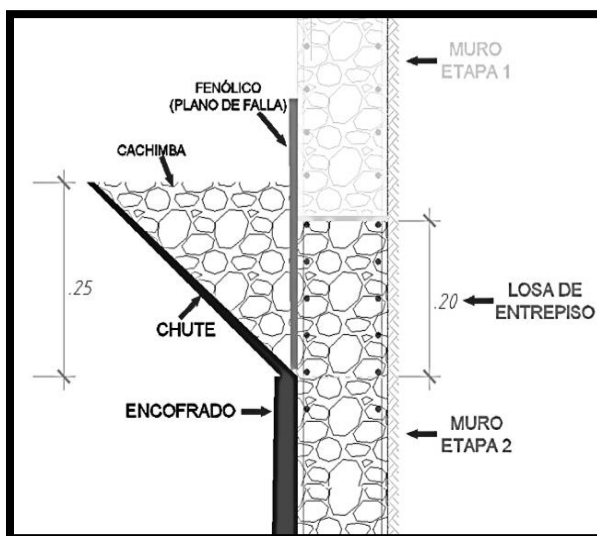


Fig. 2.1.4.3.1. Esquema de chute y de plano de falla.

El procedimiento tradicional para el tratamiento de cachimbas consume horas hombre, horas máquinas y equipos. Un operario se encarga picar la cachimba entera usando un taladro para el concreto y una cizalla para quitar el alambre que haya quedado en la cachimba. La alternativa desarrollada en el proyecto busca minimizar el uso de horas hombre y horas máquina para este procedimiento. Se ideó implementar una plancha de fenólico de 6mm, la cual se colocará entre la cachimba y el muro luego de haber culminado el vaciado. En esta posición, la plancha de fenólico creará un plano de falla entre la cachimba y el muro, separándolos parcialmente (Ver Fig. 2.1.4.3.2). De esta manera, cuando el concreto ya completó su endurecimiento, la cachimba quedará separada casi de manera total del muro, dejando de formar parte de la estructura monolítica y siendo más fácil el procedimiento para su demolición.

Al momento de retirar la cachimba, primeramente el operario retira los tablonces que conforman el chute junto con el plástico, luego deberá usar un martillo para demoler la estructura o con golpe de retroexcavadora, disminuyendo drásticamente las horas hombre y horas máquina para este proceso.

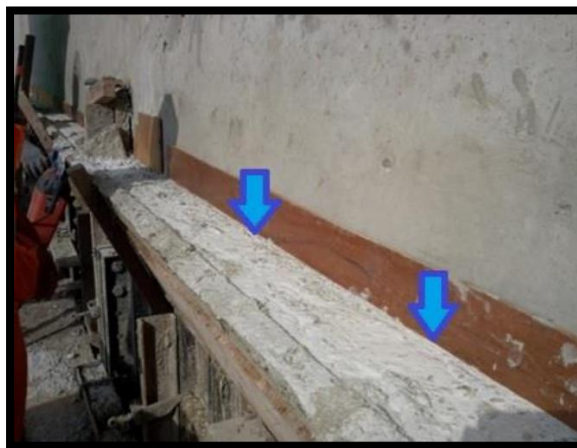


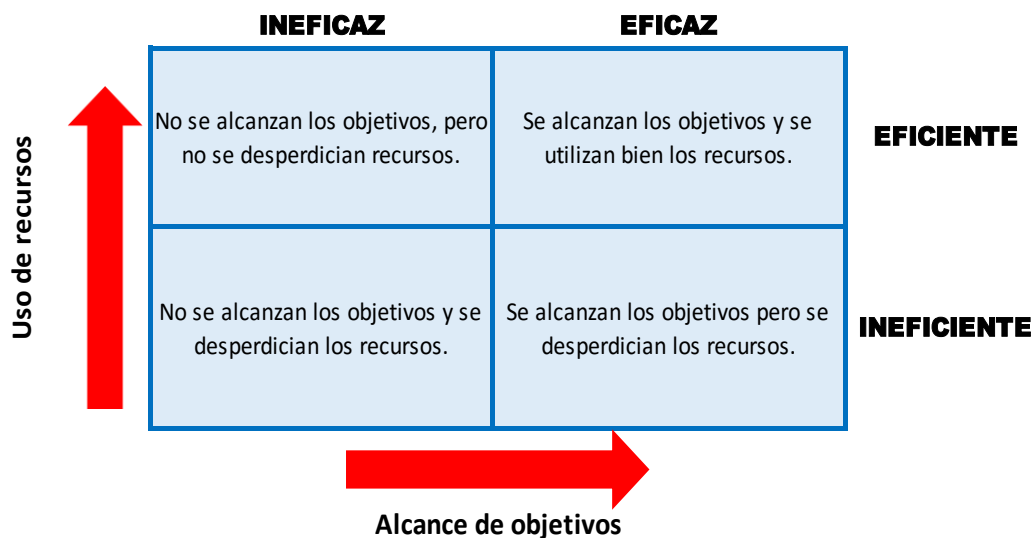
Fig. 2.1.4.3.2 Plancha de fenólico que separa la cachimba del muro.



## 2.2. Sistema Last Planner

Antes de poder entender el sistema Last Planner, la filosofía del Lean Construction 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. Es la medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un proyecto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado.
- **Eficiencia:** Es lograr los resultados optimizando el usos de los recursos con el fin de reducir los costos operativos.
- **Eficacia:** Es la medición del grado de cumplimiento de los objetivos o metas propuestos por la organización; esto es, mide la capacidad de obtener o lograr resultados.



*Relación entre eficiencia y eficacia*



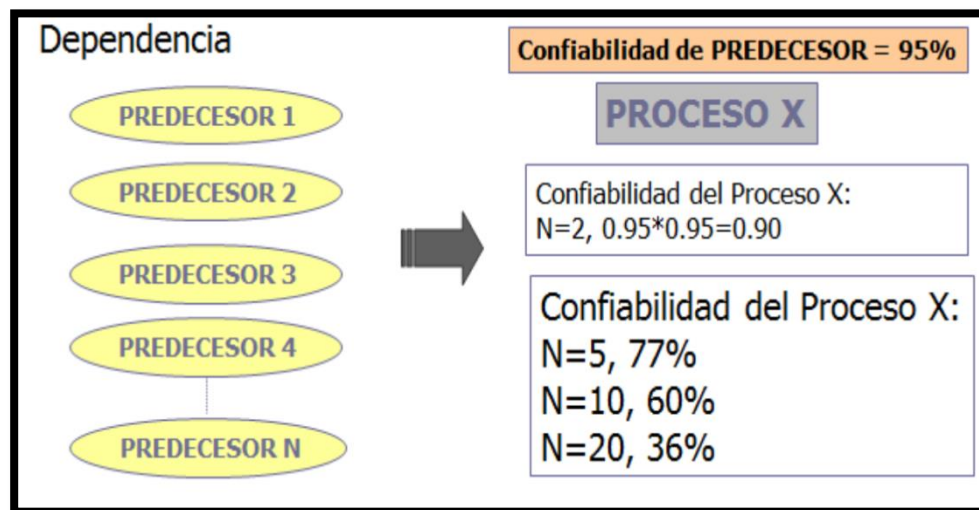
*Factores que afectan negativamente la Productividad.*



*Factores que afectan positivamente la Productividad*

- **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.

Se pueden dar de diversas formas:



*Causas de que se produzcan pérdidas*

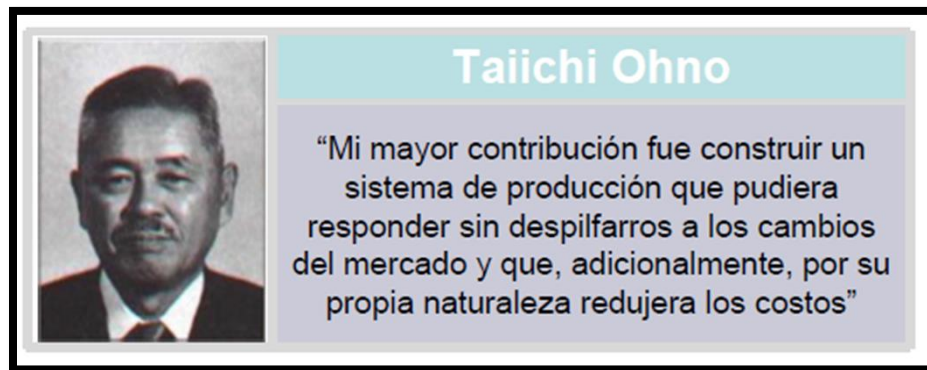
- **Tipos de trabajo:**
  - **Trabajo Productivo (TP):** es todo tipo de actividad que agrega de forma directa un valor agregado al producto final. (Ejm: asentar ladrillos, vaciar concreto, etc.)
  - **Trabajo Contributivo (TC):** es un trabajo de apoyo que no representa un valor agregado de forma directa al producto final, sin embargo, es una actividad necesaria para el desarrollo de esta. (Ejm: transportes, limpieza, etc.)
  - **Trabajo No Contributivo (TNC):** es toda actividad que no genera valor alguno al producto final y es clasificada como pérdida. (Ejm: trabajos rehechos, viajes, etc.)

- **Rendimiento:** es el recurso utilizado para realizar cierta actividad por unidad de producción (Ejm: HH/m<sup>2</sup>, HH/m<sup>3</sup>, etc).

Con estos conceptos ya podemos definir el Lean Construcción

### 2.2.1. Lean Construcción

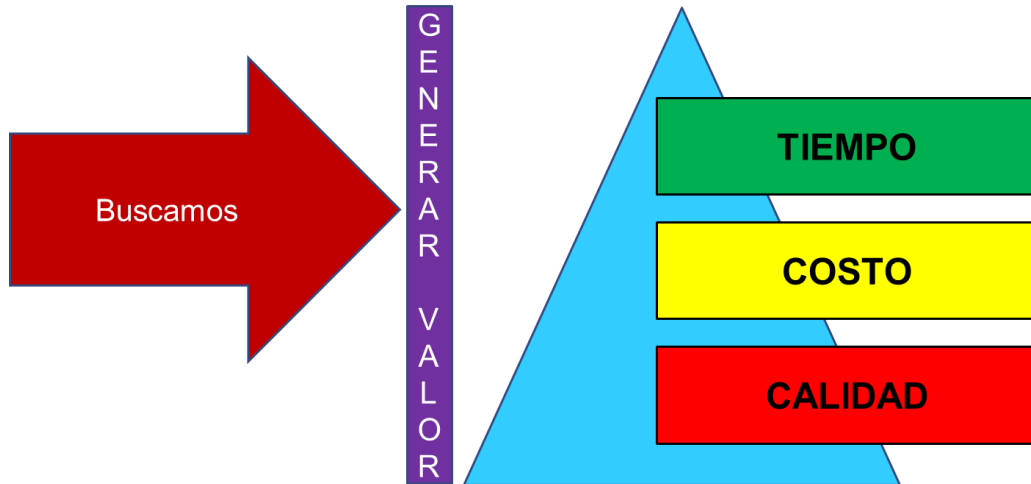
Lean Construction se origina del *Lean Production*. El Lean Production viene del Sistema de Producción Toyota (TPS) creado en los años 50 por el Ingeniero Taiichi Ohno.



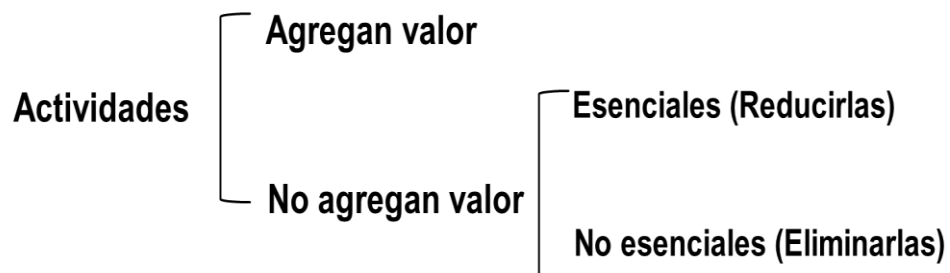
Con este sistema se vio una considerable mejora de productividad en las fábricas japoneas de Toyota, comparadas con las fábricas estadounidenses.

Como sabemos, en la industria de la construcción desde hace mucho tiempo en la industria de la construcción existe un alto porcentaje de desperdicios en los procesos, sumado a un inadecuado planeamiento y control, falta de una metodología sencilla que permita la optimización en el uso de los recursos, y un constante incumplimiento de plazo y presupuesto establecido en los proyectos.

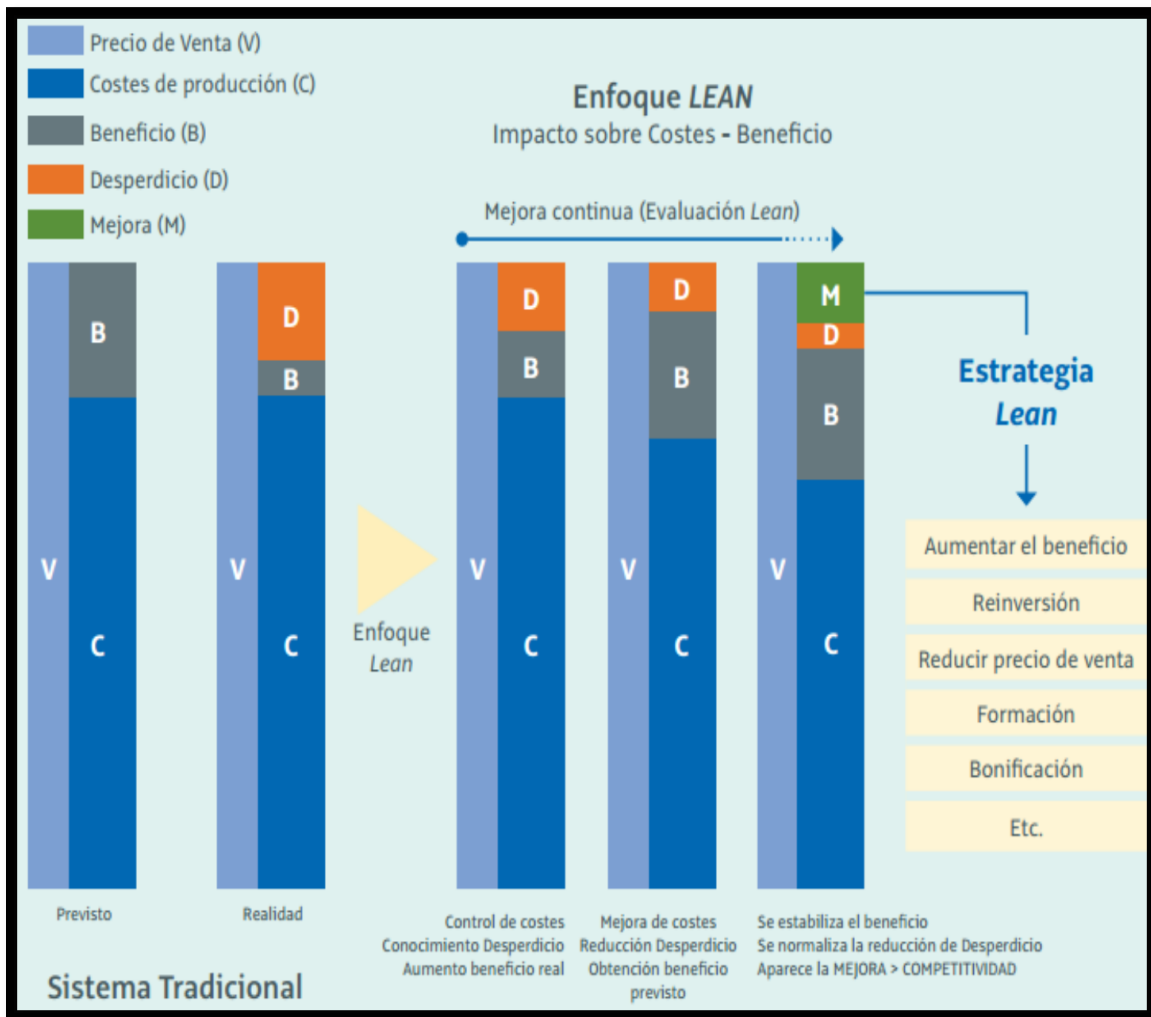
Necesitamos una metodología práctica que permita disminuir los incrementos en los costos y hacer de la construcción un negocio más eficiente y eficaz, originando un ciclo de retroalimentación donde obtengamos una mejora continua en los procesos.



Por ello se hace uso del "Lean Construction" (Construcción sin Pérdidas). Éste es un enfoque dirigido a la gestión de proyectos de construcción que maximiza el valor y minimiza las pérdidas de los proyectos, mediante la aplicación de técnicas que incrementan la productividad en los procesos de construcción.



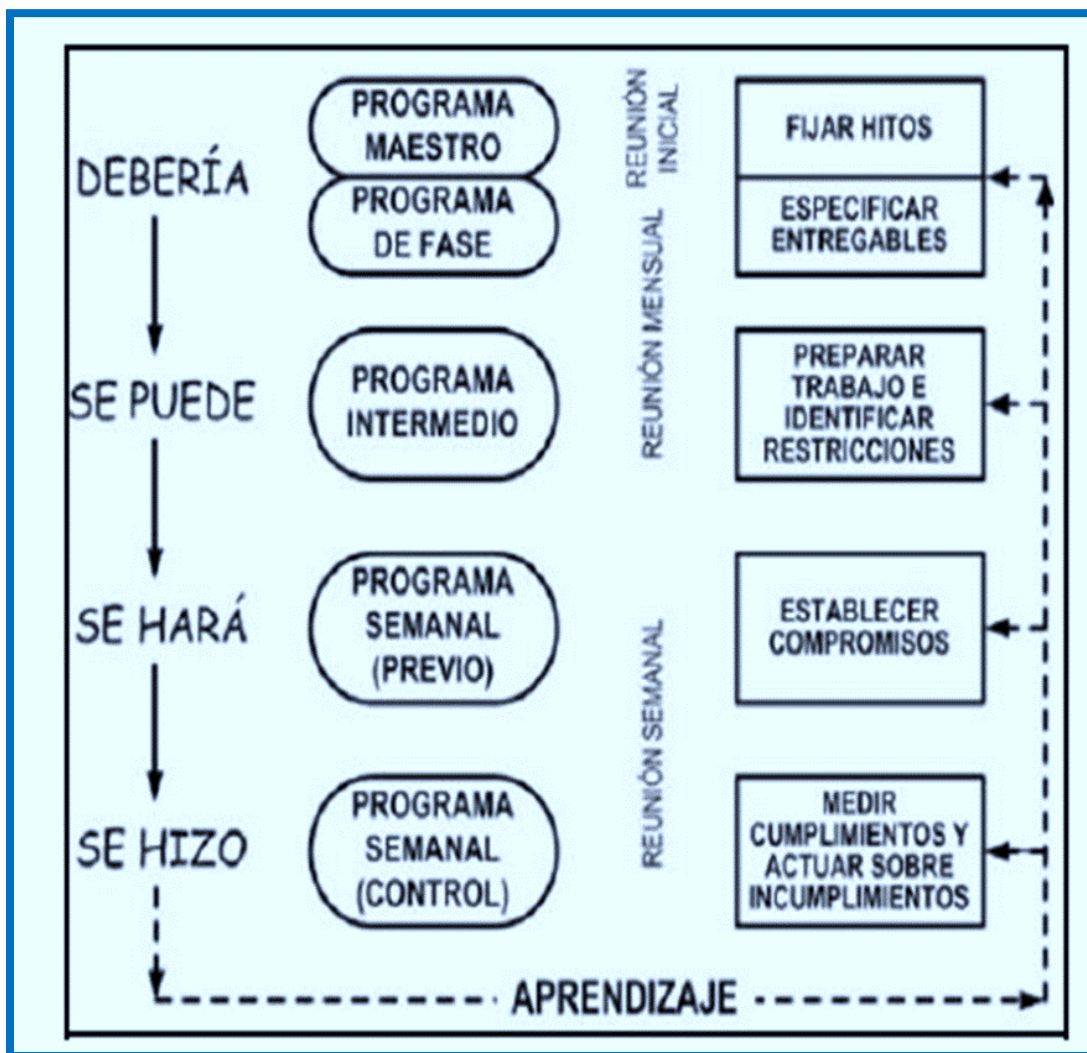
El Lean Construcción es una teoría que se enfoca en que el manejo operacional de un proyecto esté dirigido a la mitigación y posible eliminación de pérdidas durante la construcción. Otro punto fundamental en la teoría del Lean Construcción es el manejo del modelo de flujos. A diferencia del modelo clásico 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).



**Comparación SISTEMA TRADICIONAL VS. ENFOQUE LEAN**



La teoría de Last Planner se basa en el logro de que lo que queremos sea lo mismo que 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 se basa en una planificación a corto plazo y a gran detalle, con el propósito de poder asignar tareas que tengamos la seguridad se puedan cumplir tal como las estamos planteando.



ESQUEMA DE LAST PLANNER SYSTEM

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.



Ejemplo de Planificación Maestra

- Look aheadplanning**

El look aheadplanning 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 aheadplanning 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.

ACTIVIDAD	ENERO																														
	SEM 11-01							SEM 11-02							SEM 11-03							SEM 11-04									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
<b>Columnas y Placas</b>																															
Fierro Columnas y Placas																															
Encofrado Columnas y Placas																															
Concreto Columnas y Placas																															
<b>Losas, Vigas y Escaleras</b>																															
Fierro Losas, Vigas y Escalera																															
Encofrado Losas, Vigas y Escalera																															
Ladrillo de Techo																															
Concreto Losas, Vigas y Escalera																															

*Ejemplo de Look aheadplanning*

- Análisis de restricciones**

En el análisis de restricciones se identifica y provee con anticipación los recursos necesarios para poder realizar las actividades especificadas en el look ahead sin ningún problema.

- **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, 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.

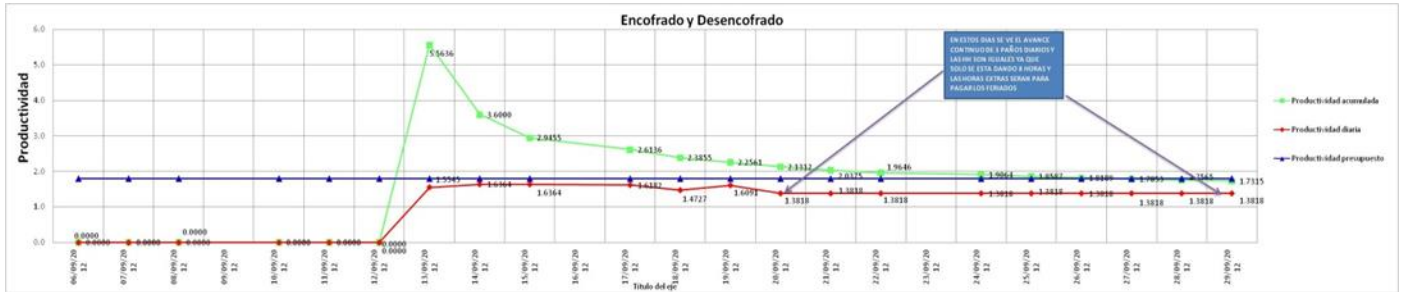
- **Curvas de productividad**

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



- **Carta Balance**

La carta balance es una técnica de muestreo estadístico para el control de actividades de una partida específica.

**INFORME SEMANAL DE PRODUCCIÓN**

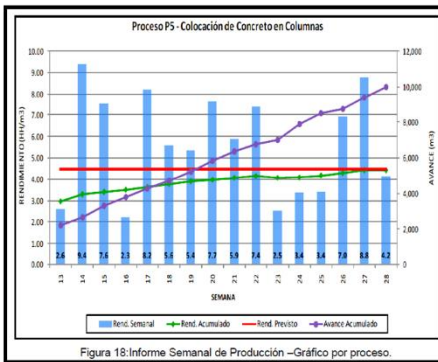
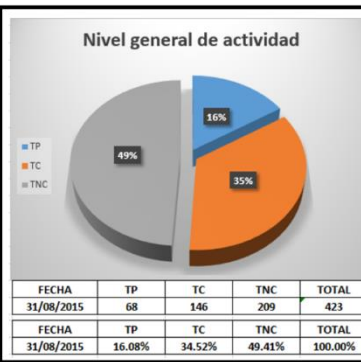
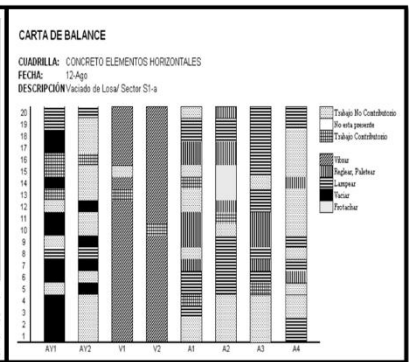


Figura 18: Informe Semanal de Producción –Gráfico por proceso.

**NIVEL GENERAL DE ACTIVIDAD**



**CARTA BALANCE**



**Herramientas de control de Productividad**

Las mediciones determinan como se divide el tiempo que se le dedica a cada partida, dividiéndolas en distintas actividades que son necesarias para la realización de la partida. Es decir, en el caso de la actividad de encofrado, como se distribuye el tiempo para la colocación de las planchas, de los puntales, etc. Además, las mediciones de la distribución de tiempo nos ayuda a conocer cuál es la secuencia constructiva real que se está utilizando, conocer cuáles son las actividades que tienen más importancia dentro del proceso constructivo y a partir de esto poder optimizar el proceso constructivo.

Estas mediciones se realizan a cada uno de los obreros de la partida por separado en intervalos de 1 minuto. En cada medición se anota la actividad que está desarrollando el obrero durante la actividad. Según Serpell (1993), se necesita por lo menos un total de 384 mediciones para que estas sean representativas.

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, regleado 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 reglee el concreto. Esto 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, y pues 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 imagen 2.4.2, donde se muestra el formato en el cual se toman las mediciones. En la imagen 2.4.1 se muestran los gráficos donde se aprecia mejor la distribución del tiempo durante la actividad de picado y resane.

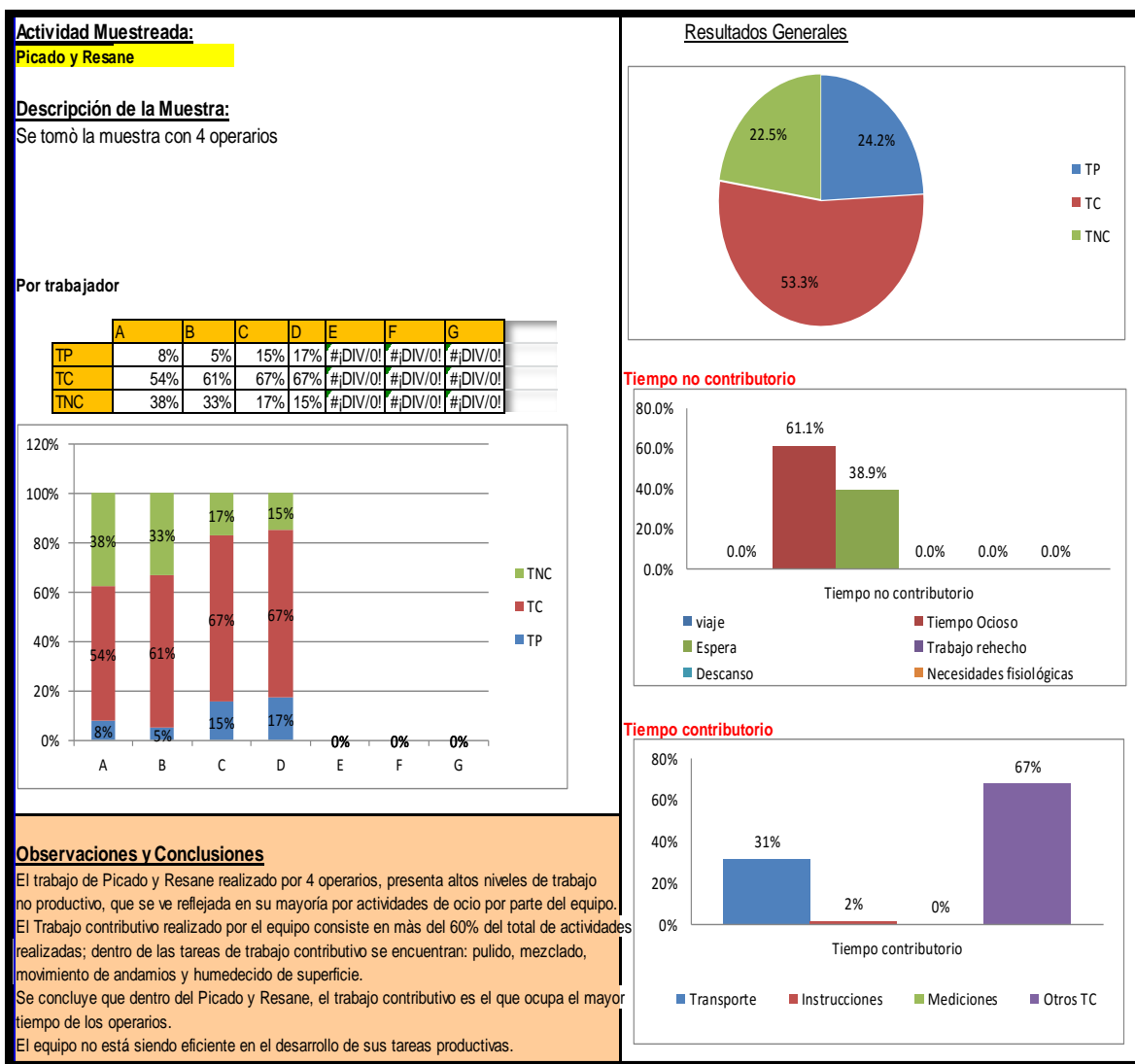


Fig. 2.4.1. Resultados de la medición en la actividad de picado y resane.

CARTA BALANCE													
Obra: <b>Salaverry Real Plaza</b>				Hora de inicio: <b>10:20</b>									
Fecha: <b>08/01/2013</b>				Hora de termino: <b>11:20</b>									
Actividad: <b>Picado y Resane</b>													
Trabajadores involucrados:		Cod. Trabajo Productivo			Cod. Trabajo Contributorio			Cod. Trabajo No Contributorio					
A: Ay	Castro	EN	Picado		23	T	Transporte		40	V	viaje		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:					0								
H:					0								
			Total		58		Total		128		Total		54
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									

Fig. 2.4.2 Ejemplo de toma de mediciones para la actividad de picado y resane.

## 2.3 TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

### 2.3.1 First Run Study (FRS)

Identificar y analizar las actividades repetitivas es una labor que se debe realizar antes de su ejecución o conclusión de las actividades. Esto permite mejorar los procesos en todo aspecto: tiempo, costo y materiales. Para ello, el supervisor deberá pensar en la mejor manera de planificar las actividades de forma eficiente y con buenos resultados o rendimientos.

Este análisis se le conoce como First Run Study y puede ser definido como un explícito y detallado plan para una actividad previa al inicio del trabajo de esa actividad (Jerald L. Round & Robert O. Segner 2011).

Otra definición menciona: "Es el estudio y obtención de los ratios de producción reales que se van tener en el proyecto en ejecución, con el personal real de la obra. Usualmente se realiza al inicio del proyecto, y permite analizar de forma detallada el proceso de construcción. Posibilita entender mejor el proceso y verificar si se ha considerado todo lo necesario para iniciar la actividad, así como contar con un ratio de producción más confiable y cercano a la realidad del proyecto en ejecución, con lo cual las proyecciones o estimaciones en la programación se realizarán con mayor certeza" (PIÑA, Lozada Karina).

Los First Run Estudios consideran la evaluación de ciertos aspectos como:

- Seguridad
- Operación
- Secuencia y relación de actividades
- Herramientas y equipos de construcción
- Costo
- Otros que tal vez afecten a la actividad o las relacionadas a esta.

Para realizar un adecuado First Run Study tengamos en cuenta lo siguiente:

### **a) Configuración del First Run Study**

Aquí se tiene la labor de seleccionar una actividad apropiada. Esta debe ser repetitiva con una prudente duración para medirla, identificar errores y corregirla; cuente con ciclos relativamente cortos (minutos preferentemente y no horas o días), y contar con un número limitado de trabajadores; identificar el avance sin variación de personal.

La actividad seleccionada debe ser estándar. En otras palabras, debe ser conocida por los involucrados en realizar dicho FRS, pues si recién se está dando a conocer esta herramienta debemos comenzar por una actividad que estén familiarizados.

Una vez se domine el FRS podemos realizarlo para actividades complejas. Pero no es aconsejable realizar una actividad compleja sin antes dominar el FRS o, peor aún, no haberlo hecho anteriormente, pues sólo crearía desorden y no se sabría si hubo mejoras o lo contrario.

Usualmente, los supervisores experimentados se abstienen de realizar este análisis o de utilizar esta herramienta, pues caen en el absurdo dar solución utilizando sus experiencias pasadas exitosas en otro proyecto, en vez de pensar y analizar ese proyecto con diferentes circunstancias de forma NUEVA y CREATIVA.

Finalmente, la información del FRS debe ser cruzado por el capataz y los operarios (ejecutores), el equipo desarrollador y Project manager para obtener diferentes perspectivas e ideas creativas.

### **b) Planificación del First Run Study.**

Una vez definida la actividad se debe buscar la mejor manera de cómo ordenar las ideas. Para esto debemos identificar los pasos críticos en la actividad y la relación entre ellos, o sea la línea de secuencia correcta.

Para esto, una lluvia de ideas sería conveniente fomentar para desarrollar la creatividad e animar a los involucrados del equipo a participar en el proceso de actividades. Una vez hecho esto, debemos revisarlo de manera exhaustiva y con mucho criterio.

Algunas veces se suele evaluar la seguridad preguntándonos ¿Dónde radica el peligro/riesgo? ¿Existen peligros/riesgos que se puedan suprimir? ¿Qué medidas de prevención se necesita implementarse para minimizar los riesgos/peligros? -La investigación no tocará este tema, sino que se enfocará en los procesos-

El supervisor debe considerar donde la actividad está podría estar fallando y se debe cuestionar ¿Cómo afectará la calidad del trabajo? ¿Qué alternativas se puede usar para disminuir los riesgos de un producto que va de manera errónea? ¿Qué solución pueden ser tomados inmediatamente de manera que vayan acorde con el problema?

La llave del FRS es observar los ciclos tempranamente para notar si se está trabajando como se planeó. Si no es así, se debe dar un nuevo enfoque para incorporarlo en el ciclo posterior. En consecuencia, el supervisor debe determinar lo que será observado, qué data debe ser recolectada y qué factores indican si la actividad está mejorando o no. Esto se debe hacer en los primeros ciclos de la actividad.

### **c) Ejecución del First Run Study**

Después se debe evaluar los pasos y la recolección de las datas específicas teniendo en cuenta a los trabajadores, materiales y los equipos utilizados durante la actividad. A pesar que se noten problemas durante la corrida del plan del FRS no debemos detenerlo o cambiarlo sino hasta que termine el ciclo a menos que sea muy urgente.

Al momento de evaluar la data, debemos tener presente lo siguiente:

- ¿Han sido planeado los pasos ejecutados? si no ¿Por qué?
- ¿Han sido anticipado las interacciones de algunos pasos u otros trabajos definidos?
- ¿Hubo problemas con la calidad o cantidad de trabajo completado?
- ¿Hubo fuentes esenciales viables y accesibles cuando lo requerías?

### **d) Análisis y Rediseño del First Run Study**

Cuando se haya completado el ciclo el equipo debe evaluar el ciclo de trabajo y deberá reportar todas las observaciones incluyendo las del capataz y operarios. Cada una de estas deben ser discutidas y se debe desarrollar un plan para dar soluciones prontas en los siguientes ciclos de trabajo. Aquí es donde analizamos y rediseñamos continuamente hasta que el equipo esté de acuerdo con el trabajo y se haya obtenido e identificado mejoras.

Teniendo en cuenta lo mencionado se realizará el cuadro de FRS mediante las observaciones de los trabajos de encofrados metálicos, equipos y maquinarias, vaciado de concreto, excavación y perfilado del terreno, y de los procesos o pasos que llevan a realizar los muros anclados.

En los siguientes capítulos se detallarán las mejoras a los procesos y equipos como alternativas a usar. Además, se verá el uso de otras herramientas como las cartas balance que apoyan al FRS para analizar las observaciones y rediseñar el cuadro del FRS.

### **2.3.2 Cartas balances**

La aplicación de carta balance para la actividad de encofrado y desencofrado de muros anclados se desarrolló para el modelo A (encofrado metálico HARSCO) y modelo B (encofrado metálico EFCO).

En la actualidad, existen muchas controversias entre saber qué actividad es considerada trabajo productivo, cual es trabajo contributivo y cuales 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 que 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 actividad tiene un peso importante en el presupuesto de una obra; lo cual, lo diferencia de otras actividades contributivos. Este mismo problema, también, se ve en las actividades de la partida de encofrado y desencofrado. 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 netamente por los autores de esta investigación. Esta división puede diferir con otros autores, por ello para el uso de los resultados de las cartas balance realizadas en esta investigación 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.

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

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

## CAPITULO III:

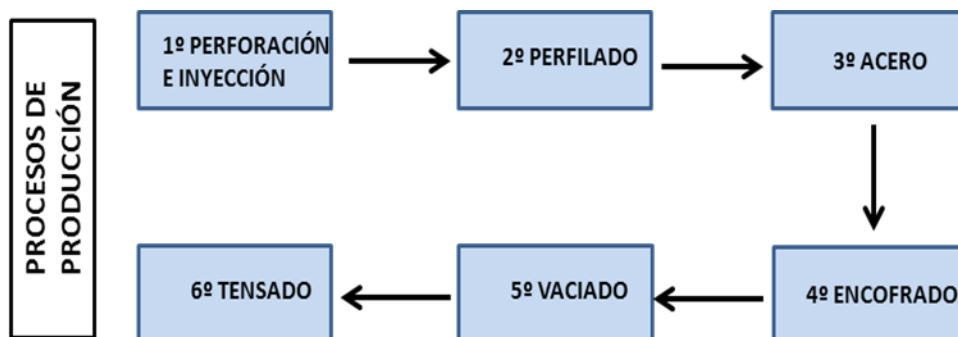
### APLICACIÓN

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

El proyecto en el cual se ha realizado la toma de información y datos es el C.C. Real Plaza Salaverry – MURO PANTALLA 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. El proyecto Muro Pantalla C.C. Salaverry, se ubica en la Av. Salaverry S/N cuadra 23 cruce con la Av. Punta Del Este en el distrito de Jesús María, propiedad de PATRIMONIO EN FIDEICOMISO DS 093-2002 EF INTERPROPERTIES PERÚ. 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 10,130.01 m<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 anclado, donde se tensará los 3 primeros anillos y el último, según estudios de Terratest, no llevará anclaje.

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



Fuente: COINSA

### **3.2. APLICACIÓN DEL SISTEMA LASTPLANNER**

En este acápite, veremos cómo se trabajó en este proyecto utilizando las herramientas del sistema LastPlanner y con filosofía LEAN CONSTRUCTION. Se realizó una corrida con todas las actividades involucradas y la duración de estas plasmadas en AutoCAD gráficamente. Esto ayuda a realizar el seguimiento con mayor facilidad y previendo con anticipación alguna restricción que pudiese aparecer, levantándolas con tiempo, reduciendo las variabilidades a mediano y largo plazo, y, finalmente, un mejor control y gestión de los recursos. Las herramientas que se utilizaron son las Cartas balance, Curva de productividad y el Look Aheadplanning.

#### **Curvas de Productividad**

Para realizar el correcto ingreso de datos en el cuadro de productividad para obtener las curvas donde se observará los rendimientos diarios se deben seguir los siguientes pasos:

1ra fila: Tareo Diario, es decir cuántas horas hombre se usó para realizar la actividad.

2da fila: Metrado diario, es la producción diaria realizada por la cuadrilla.

3ra fila: Tareo Acumulado.

4ta fila: Metrado Acumulado.

5ta fila: Rendimiento diario, resulta de la división del tareo diario y el metrado diario.

6ta fila: Rendimiento Promedio, es la división entre el tareo acumulado y el metrado acumulado.

7ma fila: Rendimiento Presupuestado, el mismo que figura en el presupuesto.

8va fila: Horas Ganadas / Perdidas, resultado de la multiplicación del rendimiento presupuestado con el metrado avanzado en el día y esto menos las horas hombre usadas durante el día.

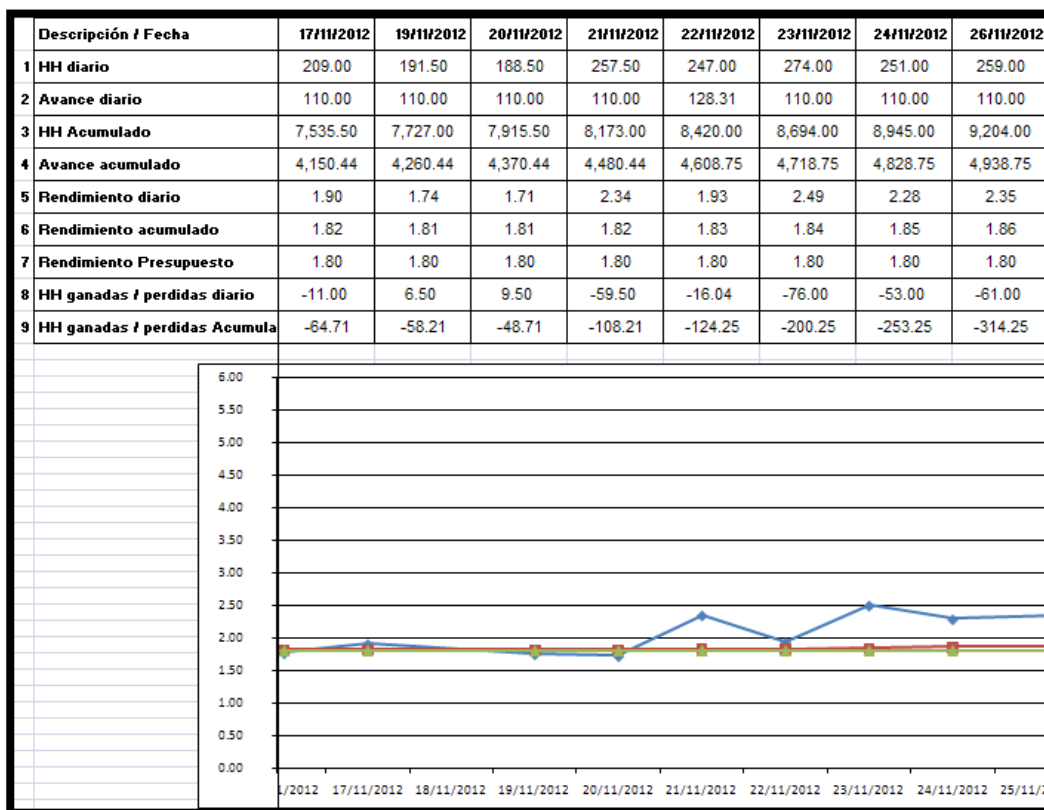
9na fila: Horas Ganadas / Pérdidas acumuladas.

Con esta información se obtienen las tres curvas:

Verde: Rendimiento Presupuestado

Rojo: Rendimiento Promedio

Azul: Rendimiento Diario



Curva de Productividad (COINSA)

En el cuadro se puede notar los altos y bajos de los rendimientos diarios y del comportamiento del rendimiento promedio. Durante ese rango de días correspondientes a la semana 11. Mientras los valores de los rendimientos diarios se encuentren por debajo del rendimiento del presupuesto estamos ganando horas hombre a favor de la empresa (ahorro) al realizar dicha actividad, caso contrario se estaría perdiendo horas hombre en contra de la empresa (pérdida). Además, se debe comparar el metrado diario avanzado con el metrado planificado para realizar nuestro cuadro de restricciones y tomar medidas correctivas de inmediato tratando de no perjudicar el rendimiento.

### **3.3. LOOK AHEADPLANNING**

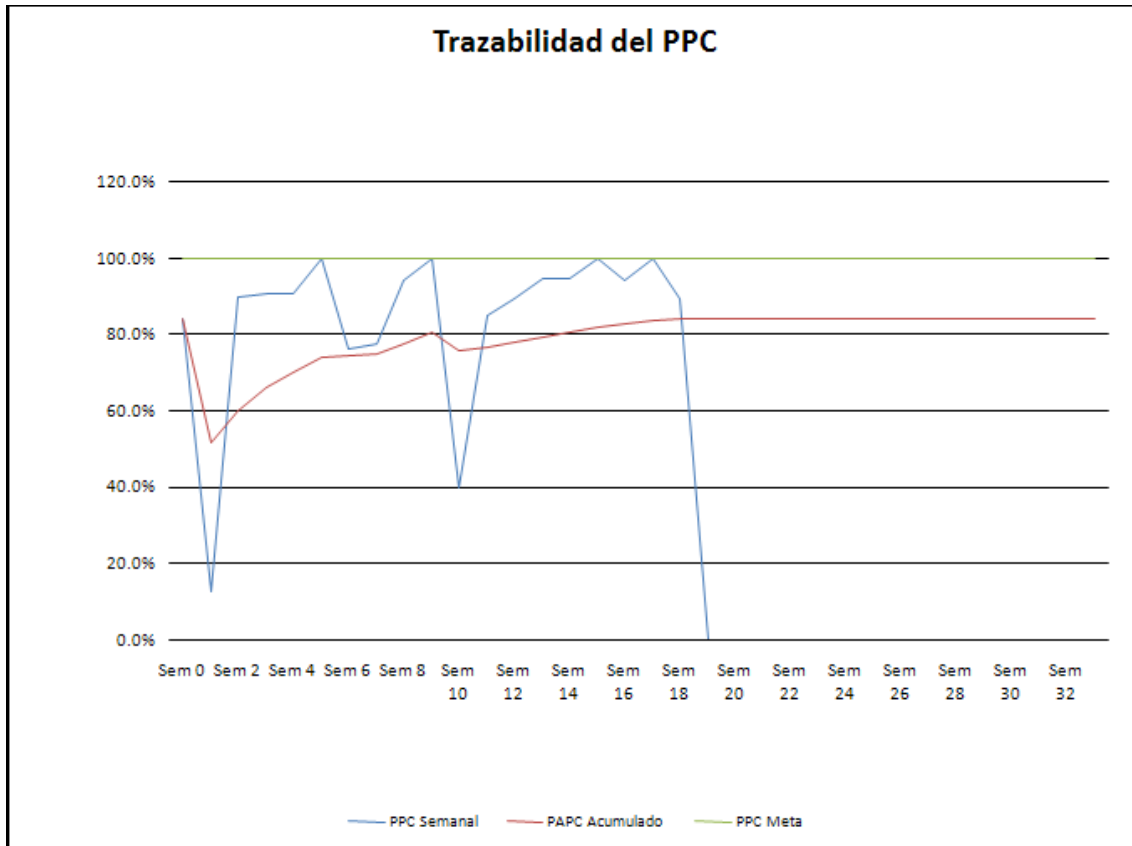
En este punto, se mostrará el planeamiento que siguieron para poder realizar el seguimiento de las actividades en la semana. Es muy importante definir las actividades por realizarse en la semana para poder identificar las posibles restricciones. Esto permite que no se presenten en nuestro cuadro de Causas de No Cumplimiento pero sí en nuestro cuadro de Porcentaje de Plan Cumplido.

Se puede notar la cantidad actividades propuestas para la semana con su metrado correspondiente. Esto hace que pueda ser medible al momento de revisar el avance, muy aparte de la fácil detección de cualquier evento en alguna de las partidas para almacenarlas como lecciones aprendidas. Además, de acuerdo a las actividades se puede ubicar rápidamente los problemas presentados en obra colocándolos en los cuadros de PPC/CNC y saber a qué área de trabajo se debe reforzar.

En el primer cuadro se observa la semana 18 con las actividades a realizarse día a día y sus respectivos metrados. Si el metrado real es menor al metrado programado, entonces, se coloca NO en la recta de PPC como programación no cumplida. Sin embargo, si ocurre lo contrario se colocará SI. En este caso se nota que se cumplió 19 de 21 actividades programadas y el PPC fue de 90.48%.







**Trazabilidad del PPC (COINSA)**

**3.4. COMPARATIVO DE ENCOFRADOS (MANIOBRABILIDAD “PESO”, COSTOS, CALIDAD POST-VACIADO, TIPOS DE ENCOFRADO Y EMPRESAS PARTICIPANTES)**

En el sistema EFCO se considerará como uno solo y no requiere el retiro de los paneles pero sí de puntales, pues este es trasladado por la maquinaria que contásemos en la obra (retroexcavadora o excavadora). Este sistema fue 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). Teniendo en cuenta sus características no se comportarán adecuadamente antes los grandes empujes que estará sometido y el notará en el acabado del muro

El sistema HARSCO 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 anterior. Este sistema es más rígido y pesado; lo cual, es menos probable que ocurra algún desplome o curvatura en el acabado.

### **3.5. 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 metros cuadrados se pueden utilizar varias máquinas (bobcats, 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 minicargador; asignadas a realizar movimiento de arena, materiales de encofrados u otros, excavadoras; cortan y perfilan el terreno con gran potencia/capacidad, y retroexcavadoras; cortan el terreno con dificultades.

Las variables para determinar el uso del minicargador más eficiente y con características necesarias. Entre ellas se escogieron las que se muestran en el cuadro de acuerdo a las necesidades que se quiere para este tipo de obras.



MODELO	216B2		226B2		232B2	
Potencia en el volante: Neta	35 kW	48 hp	42 kW	56 hp	42 kW	56 hp
Bruta	38 kW	51 hp	46 kW	62 hp	46 kW	62 hp
Modelo de motor	C2.2		C2.2T		C2.2T	
RPM nominales del motor	3000		3000		3000	
Calibre	84 mm	3,3"	84 mm	3,3"	84 mm	3,3"
Carrera	100 mm	3,9"	100 mm	3,9"	100 mm	3,9"
Cilindrada	2,2 L	134 pulg <sup>3</sup>	2,2 L	134 pulg <sup>3</sup>	2,2 L	134 pulg <sup>3</sup>
Número de cilindros	4		4		4	
Primera velocidad de avance	0-12,7 km/h	0-7,9 mph	0-12,7 km/h	0-7,9 mph	0-11,1 km/h	0-6,9 mph
Primera velocidad de retroceso	0-12,7 km/h	0-7,9 mph	0-12,7 km/h	0-7,9 mph	0-11,1 km/h	0-6,9 mph
Tiempo de ciclo hidráulico, cucharón vacío:	Segundos		Segundos		Segundos	
Levantamiento	2,7		2,7		3,0	
Descarga	2,2		2,2		2,2	
Descenso libre (vacío)	2,8		2,8		3,0	
Total	7,7		7,7		8,2	
Entrevía	1244 mm	4'1"	1244 mm	4'1"	1244 mm	4'1"
Ancho con neumáticos	1525 mm	5'0"	1525 mm	5'0"	1525 mm	5'0"
Espacio libre sobre el suelo	195 mm	8,0"	195 mm	8,0"	145 mm	5,7"
Capac. del tanque de combustible	15,4 gal.		15,4 gal.		15,4 gal.	
	58 L	EE.UU.	58 L	EE.UU.	58 L	EE.UU.
Capac. del tanque hidráulico	35 L	9,2 gal. EE.UU.	35 L	9,2 gal. EE.UU.	35 L	9,2 gal. EE.UU.
Capacidad del sistema hidráulico (incluyendo el tanque)	55 L	14,5 gal. EE.UU.	55 L	14,5 gal. EE.UU.	55 L	14,5 gal. EE.UU.
Capacidad de la bomba hidráulica	60 L/min	15,6 gpm	60 L/min	15,6 gpm	60 L/min	15,6 gpm



MODELO	216B2		226B2		232B2	
Potencia en el volante: Neta	35 kW	48 hp	42 kW	56 hp	42 kW	56 hp
Bruta	38 kW	51 hp	46 kW	62 hp	46 kW	62 hp
Modelo de motor	C2.2		C2.2T		C2.2T	
RPM nominales del motor	3000		3000		3000	
Calibre	84 mm	3,3"	84 mm	3,3"	84 mm	3,3"
Carrera	100 mm	3,9"	100 mm	3,9"	100 mm	3,9"
Cilindrada	2,2 L	134 pulg <sup>3</sup>	2,2 L	134 pulg <sup>3</sup>	2,2 L	134 pulg <sup>3</sup>
Número de cilindros	4		4		4	
Primera velocidad de avance	0-12,7 km/h	0-7,9 mph	0-12,7 km/h	0-7,9 mph	0-11,1 km/h	0-6,9 mph
Primera velocidad de retroceso	0-12,7 km/h	0-7,9 mph	0-12,7 km/h	0-7,9 mph	0-11,1 km/h	0-6,9 mph
Tiempo de ciclo hidráulico, cucharón vacío:	Segundos		Segundos		Segundos	
Levantamiento	2,7		2,7		3,0	
Descarga	2,2		2,2		2,2	
Descenso libre (vacío)	2,8		2,8		3,0	
Total	7,7		7,7		8,2	
Entrevía	1244 mm	4'1"	1244 mm	4'1"	1244 mm	4'1"
Ancho con neumáticos	1525 mm	5'0"	1525 mm	5'0"	1525 mm	5'0"
Espacio libre sobre el suelo	195 mm	8,0"	195 mm	8,0"	145 mm	5,7"
Capac. del tanque de combustible	15,4 gal.		15,4 gal.		15,4 gal.	
	58 L	EE.UU.	58 L	EE.UU.	58 L	EE.UU.
Capac. del tanque hidráulico	35 L	9,2 gal. EE.UU.	35 L	9,2 gal. EE.UU.	35 L	9,2 gal. EE.UU.
Capacidad del sistema hidráulico (incluyendo el tanque)	55 L	14,5 gal. EE.UU.	55 L	14,5 gal. EE.UU.	55 L	14,5 gal. EE.UU.
Capacidad de la bomba hidráulica	60 L/min	15,6 gpm	60 L/min	15,6 gpm	60 L/min	15,6 gpm

MODELO	246C		256C		262C		272C	
Potencia en el volante: Neta	54 kW	73 hp	61 kW	82 hp	61 kW	82 hp	67 kW	90 hp
Bruta	56 kW	75 hp	63 kW	84 hp	63 kW	84 hp	70 kW	94 hp
Modelo de motor	C3.4 DIT		C3.4 DIT		C3.4 DIT		C3.4 DIT	
RPM nominales del motor	2500		2500		2500		2500	
Calibre	94 mm	3,7"	94 mm	3,7"	94 mm	3,7"	94 mm	3,7"
Carraera	120 mm	4,7"	120 mm	4,7"	120 mm	4,7"	120 mm	4,7"
Cilindrada	3,3 L	201 pulg <sup>3</sup>	3,3 L	201 pulg <sup>3</sup>	3,3 L	201 pulg <sup>3</sup>	3,3 L	201 pulg <sup>3</sup>
Número de cilindros	4		4		4		4	
Primera velocidad de avance	0-12,5 km/h	0-7,7 mph	0-12,5 km/h	0-7,7 mph	0-12,5 km/h	0-7,7 mph	0-11,6 km/h	0-7,2 mph
Segunda velocidad de avance	0-19,3 km/h	0-12 mph	0-19,3 km/h	0-12 mph	0-19,3 km/h	0-12 mph	0-16,1 km/h	0-10 mph
Primera velocidad de retroceso	0-12,5 km/h	0-7,7 mph	0-12,5 km/h	0-7,7 mph	0-12,5 km/h	0-7,7 mph	0-11,6 km/h	0-7,2 mph
Segunda velocidad de retroceso	0-19,3 km/h	0-12 mph	0-19,3 km/h	0-12 mph	0-19,3 km/h	0-12 mph	0-16,1 km/h	0-10 mph
Tiempo de ciclo hidráulico, cucharón vacío:	<b>Segundos</b>		<b>Segundos</b>		<b>Segundos</b>		<b>Segundos</b>	
Subida (HF)	3,1 (3,1)		3,1 (3,1)		4,7 (4,5)		4,7 (4,5)	
Descarga (HF)	2,5 (2,5)		2,5 (2,5)		2,5 (2,5)		2,5 (2,5)	
Bajada (vacío, descenso libre) (HF)	4,0 (3,6)		4,0 (3,6)		4,6 (4,7)		4,6 (4,7)	
Total (HF)	9,6 (9,2)		9,6 (9,2)		11,8 (11,7)		11,8 (11,7)	
Ancho de banda de rodadura (HF)	1371 mm	4'6"	1371 mm	4'6"	1371 mm	4'6"	1371 mm	4'6"
	(1524 mm)	(5'0")	(1524 mm)	(5'0")	(1524 mm)	(5'0")	(1524 mm)	(5'0")
Ancho con neumáticos	1676 mm	5'6"	1676 mm	5'6"	1676 mm	5'6"	1676 mm	5'6"
Espacio libre sobre el suelo	225 mm	8,9"	225 mm	8,9"	225 mm	8,9"	225 mm	8,9"
Capac. del tanque de combustible	98 L	26 gal.	98 L	26 gal.	98 L	26 gal.	98 L	26 gal.
Capac. del tanque hidráulico	42 L	11 gal.	42 L	11 gal.	42 L	11 gal.	42 L	11 gal.
Capacidad del sistema hidráulico (incluyendo el tanque)	57 L	15 gal.	57 L	15 gal.	57 L	15 gal.	57 L	15 gal.
Capacidad de la bomba hidráulica	84 L/min	22 gpm	84 L/min	22 gpm	84 L/min	22 gpm	84 L/min	22 gpm

HF = Flujo alto

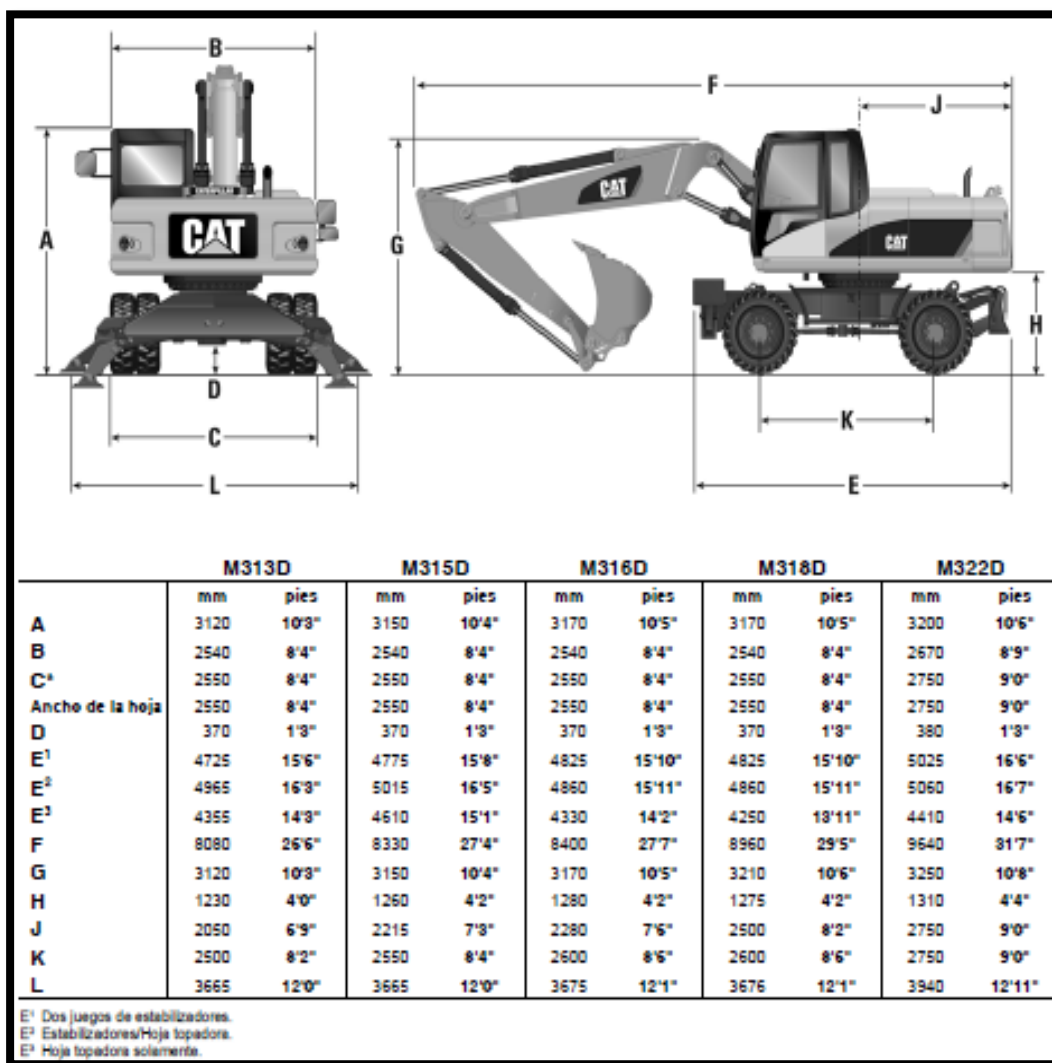
MODELO	216B2	226B2	232B2	236B2	242B2	252B2	246C	256C	262C	272C
Velocidad max. Avance(km/h)	12.7	12.7	11.1	18.1	12	17.8	19.3	19.3	19.3	16.1
Velocidad max. Retroceso (km/h)	12.7	12.7	11.1	18.1	12	17.8	19.3	19.3	19.3	16.1
Tiempo del Ciclo (seg)	7.7	7.7	8.2	7.7	8.2	10.6	9.6	9.6	11.8	11.8
Ancho con Neumáticos (mm)	1525	1525	1525	1676	1676	1829	1576	1676	1676	1676
Cap. del tanque de comb. (gal)	15.4	15.4	15.4	23.8	15.3	23.8	26	26	26	26
Ancho de Cuchara Óptima (mm)	1524	1524	1524	1676	1676	1676	1576	1676	1829	1829
Ancho de Cuchara Óptima (pulg)	60	50	60	66	66	66	56	66	72	72
Capacidad a nominal (m <sup>3</sup> )	0.35	0.35	0.35	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.42	0.42
Capacidad a ras (m <sup>3</sup> )	0.25	0.25	0.25	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.30	0.30
Alt. de descarga a alt. máx. de levantamiento/descarga (mm)	2140	2140	2229	2369	2249	2403	2394	2394	2436	2473
Alcance a altura máx. de levantamiento/descarga (mm)	520	520	732	555	732	752	613	613	795	778
Ángulo con el suelo a levantamiento máx. (grados)	39.9°	39.9°	49.5°	39.9°	49.5°	51°	39.8°	39.8°	39.2°	40°
Carga límite (kg)	1251	1332	1799	1727	1862	2419	1921	2026	2403	2859
Capacidad Nominal de Operación (kg)	635	680	862	884	952	1134	975	1066	1225	1474

**Cuadro Resumen de los tipos de Minicargadores analizados (Fuente Propia)**

Se consideraron las características y capacidades más relevantes para la elección del minicargador, teniendo en cuenta los puntos más relevantes para el constructor.

Para el estudio de las excavadoras se considerará las que cuentan con neumático de caucho y no las 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 existente de medianas y grandes dimensiones.

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.

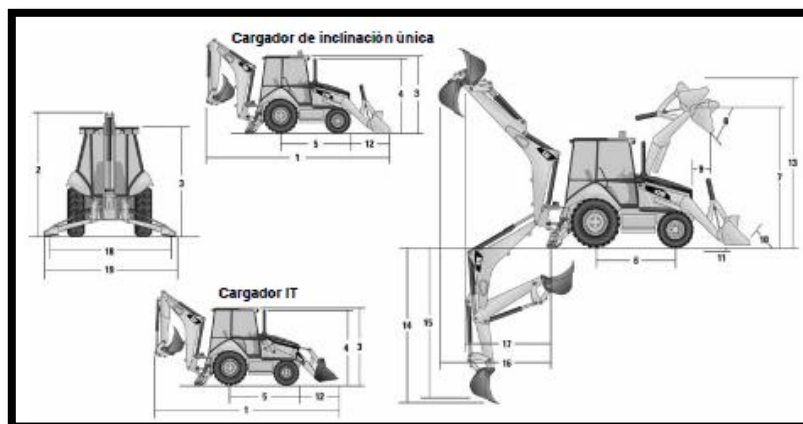


MODELO	M313D	M315D	M316D	M318D	M322D
Velocidad max. Desplazamiento(km/h)	37.0	34.0	37.0	37.0	25.0
Distancia entre ejes (mm)	2,500.0	2,550.0	2,600.0	2,600.0	2,750.0
Capacidad de llenado de tanque (gal)	62.0	62.0	61.0	102.0	102.0
Capacidad del cucharón colmado (m <sup>3</sup> )	0.18-0.92	0.38-1.26	0.38-1.26	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

\* 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. Fuente Propia.

Cuadro Resumen de los tipos de Excavadoras analizadas (Fuente Propia)

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 el terreno agreste que se cuenta. Además, las excavadoras son más potentes en comparación a las retroexcavadoras y tienen muy similares dimensiones. Se adjunta, como ejemplo, las imágenes del modelo 416E.



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
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"

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>
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	6320 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°		106°		106°	
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



DIMENSIONES Y RENDIMIENTO DEL CUCHARÓN RETROEXCAVADOR	Braze estándar		Braze extensible Retraído		Braze extensible Extendido	
	14) Profundidad de excavación, BAE (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	180°		180°		180°	
Rotación del cucharón	205°		205°		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

MODELO	416E	420E	422E	428E	430E	432E	434E	442E	444E	450E
Potencia Bruta en el Volante (kW)	58.0	69.0	57.0	69.0	75.0	69.0	75.0	75.0	75.0	102.0
Peso en el Orden de Trabajo (kg)	6,792.0	7,025.0	7,210.0	7,570.0	7,294.0	7,780.0	8,370.0	7,940.0	8,810.0	10,950.0
Velocidad de Avance Máxima (km/h)	39.9	40.1	40.0	40.0	43.2	40.0	37.0	41.0	40.0	-
Capacidad de llenado de tanque (gal)	144.0	144.0	144.0	144.0	144.0	144.0	187.0	144.0	187.0	144.0
Capacidad Nominal del Cargador (m³)*	0.96	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.15	1.00	1.30	1.30
Capacidad de Levantamiento a Altura Máxima del Cargador (kg)	2,427.0	2,929.0	2,423.0	2,917.0	2,739.0	3,389.0	3,508.0	3,389.0	3,911.0	3,828.0
Fuerza de Desprendimiento del Cargador (kN)	38.100	45.600	39.000	46.300	47.100	51.000	54.000	51.000	64.000	52.249
Fuerza de Excavación del Cucharón Retroexcavador (kN)	51.800	61.700	52.000	52.000	70.700	57.000	57.000	71.000	71.000	79.004
Capacidad Nominal de la Retroexcavadora (m³)*	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	-	0.175	-	-

Cuadro Resumen de los tipos de Retroexcavadoras analizadas (Fuente Propia)



## **CAPÍTULO IV:**

### **PROBLEMAS TÍPICOS, SUGERENCIAS Y SOLUCIONES**

#### **4.1 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, siempre 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, tomando en cuenta la constructibilidad de los muros 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.

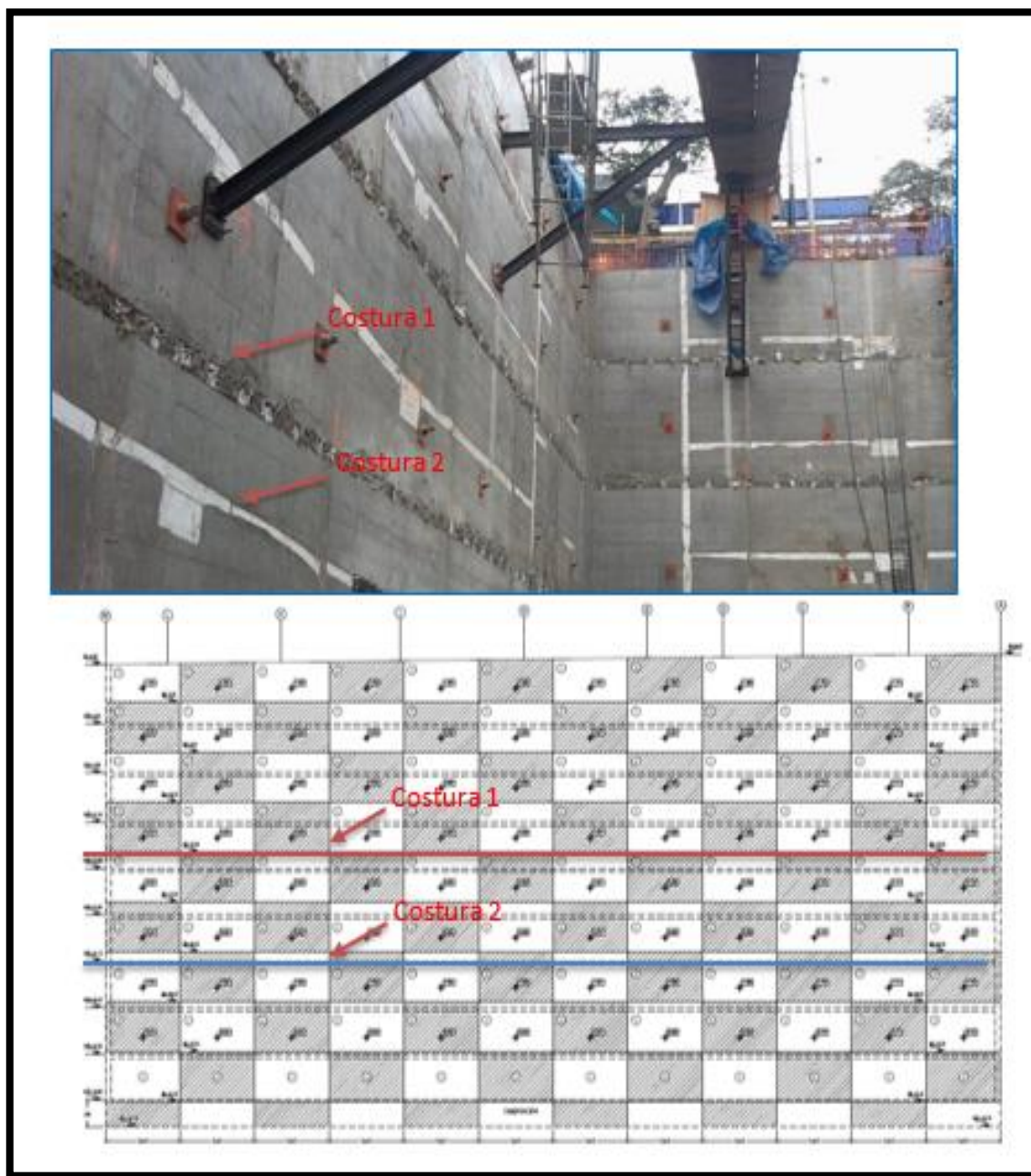


Fig. 0.1 Imágenes de muros anclados en los que se aprecia las dos costuras. Costura 1: zona de encuentro de paños construidos y picado de cachimba. Costura 2: Intersección entre losa y muro.

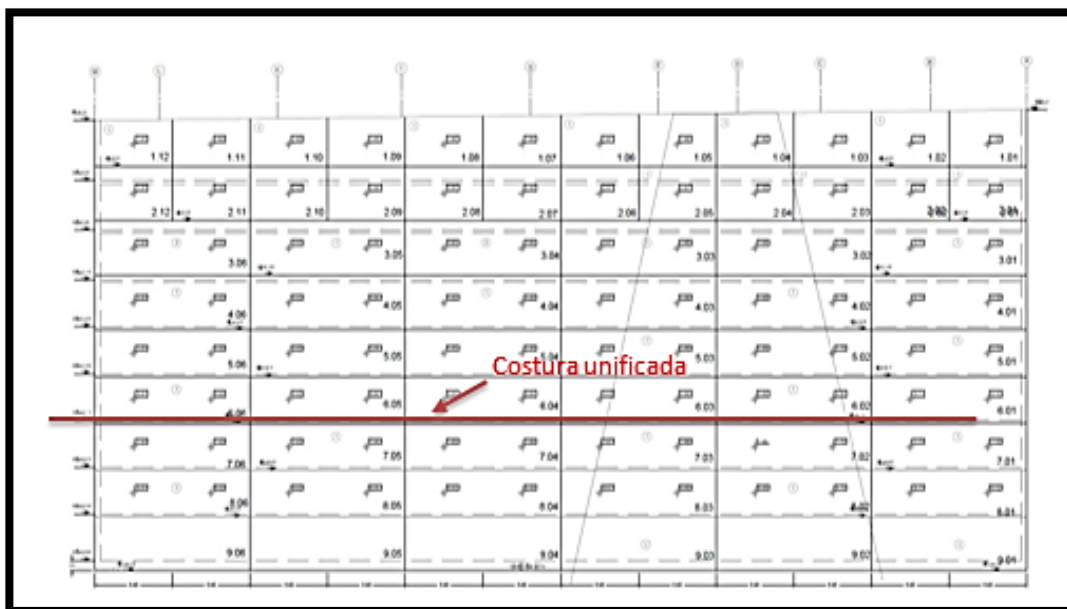


Fig. 0.2 Imagen de muros anclados con modulación de acuerdo a tamaño de sótanos. Se puede apreciar la unificación de las dos costuras

En la última imagen 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 del pre-dimensionamiento 3.50x5.00m, por ejemplo se tendrá que hacer paños de 3.15x5.00m si los sótanos típicos tienen un alto de 3.15m. Uno pensaría que de esta forma se está produciendo menor obra, sin embargo, con una maximización del tamaño de los primeros anillos (en tanto lo permita el proyectista de estabilidad de taludes), se podrá obtener una modulación adecuada sin necesidad de agregar otro anillo más al proyecto, lo cual si generaría muchos sobrecostos.

## 4.2 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). Existen varias maneras de diseñar los muros anclados:

- 1) **Ancho Variable:** Existen proyectos donde los anchos de los muros van aumentando de acuerdo se vaya bajando al siguiente anillo, pues es propuesto por el proyectista. Esto se debe a los esfuerzos laterales del suelo hacia los muros van aumentando de acuerdo vayamos profundizando. En los primeros anillos el largo del cable es mayor en comparación de inferiores. Esto es a consecuencia a que mientras más ancho requiere menor tensión y longitud en el cable.

Este diseño no contempla el procedimiento constructivo o teniendo un concepto Lean, pues el volumen de concreto tendrá que variar por anillo y, como es sabido, en este tipo de proyecto se debe cuidar el no generar merma de concreto. Por eso, debemos controlar sin tener muchas variables que hagan fluctuar la toma de decisiones al pedido de concreto, en especial al momento del corte y perfilado, pues si varían los anchos existe la posibilidad que se equivoquen generando sobre-excavación y no se haga un adecuado pedido de concreto (excedente o insuficiente).

- 2) **Ancho Uniforme:** Es recomendable trabajar con uno o dos anchos diferentes en proyectos con muros anclados, pues esto hace más eficiente o Lean al proceso constructivo. Un diseño de este tipo permite controlar de mejor manera los desperdicios y el corte del terreno para no ocasionar sobre-excavación.

Adicionalmente, como sugerencia, las placas por donde pasan los cables para ser tensados deberán ser colocadas de manera perpendicular y no en diagonal para evitarnos el trabajo de volver al muro a resanarlo. Es decir, si colocamos en diagonal como vemos en la siguiente figura tendríamos que hacer estos trabajos antes y después del tensado: ANTES, picado y resane para base de placa; DESPUÉS, picado y resane a ras de cara del muro. Pero si dejásemos la base a ras del muro tal que la placa se coloque de manera perpendicular el trabajo se reduce en sólo realizar picado y resane para la base de la placa antes del tensado.

Si nuestro tren de trabajo se ve perjudicado debido a que no se puede excavar el siguiente anillo hasta que el anillo superior haya llegado a su resistencia en el tiempo esperado y que el cable haya sido tensado. Para esto, se muestra una alternativa en el punto 4.3.



### 4.3 TENSADO DE LOS MUROS EN MENOR TIEMPO (f'c)

La espera para poder tensar era de muchos días. Esto va en contra del cronograma y contra al proceso constructivo planeado. La solución, propuesta por el Ing. Blanco, fue alargar los cables, o sea deberán estar enterrados más de los 10m, y llegar a una longitud entre los 10-13m con una carga de servicio (carga máxima) entre los 50-75KN. 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	α v °	Fw' Ton	L anc. m	Lo tot m
Zona 1 (NFC -16.50) Av. Punta del Este y Av. Salaverry (-0.50m)	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
	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
	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) Av. Salaverry (+0.50m)	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
	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 -17.00) Vecinos (-1.50m) (Se reemplaza el anclaje 1.110 por 2nails)	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
	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
	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 -17.00) Grifo - Zona rampa (-0.50m)	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
	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 -17.00) Grifo - Zona rampa (+0.50m)	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
	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	L adc* m	Lo m	α v °			Lo tot m
Zona 2 (NFC -16.50) Av. Salaverry (+0.50m)	A.01 @ A.68	1	68	TITAN 40-16	40mm	1.40	Ver planos	5.70	0.30	6.00	15			SIN APROBAR
Zona 3 (NFC -17.00) Vecinos (-1.50m)	A69 y A.70	1	2	TITAN 40-16	40mm	1.40	Ver planos	4.70	0.30	5.00	15			10.00
<b>TOTAL NAILS</b>			<b>2</b>											<b>10.00</b>

Terratest – Información de longitud del cable anclado y libre.

Para poder validarlo, se tuvo que hacer un comparativo entre el costo de alargar el cable y el costo de usar acelerante de fragua. En el cual se puede notar la diferencia.

#### **4.4. APERTURA DE PAÑOS CONSECUTIVOS**

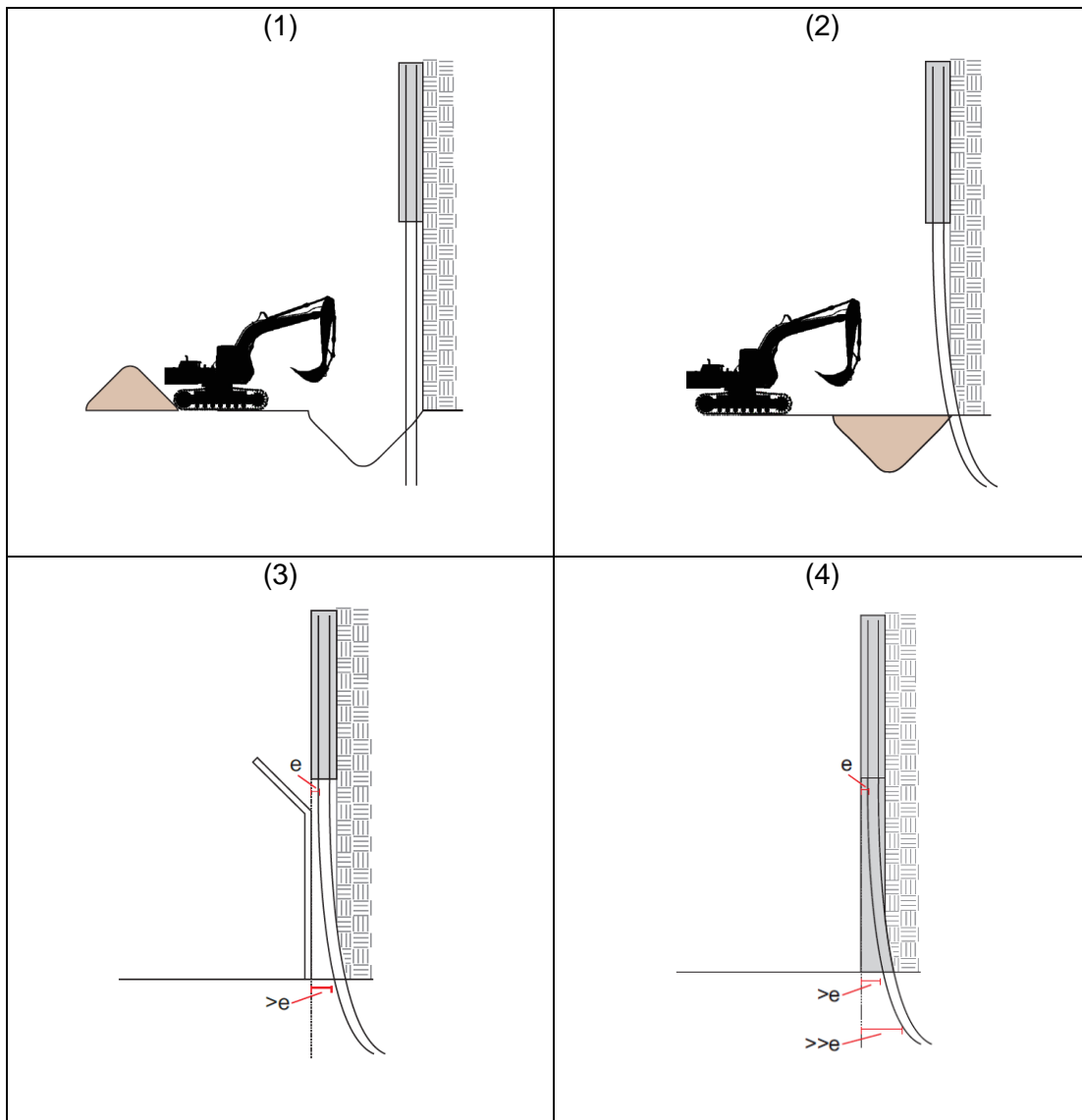
Es conocido por los constructores el proceso de apertura de paños en forma de dameros, pues este proceso es el adecuado o más conocido en el mercado constructor. Sin embargo, si contamos con franjas largas que incluyen varios paños de 3.50x5.00m es posible realizar la excavación y vaciado de paños continuos, 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 2 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.

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.

#### **4.5 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).

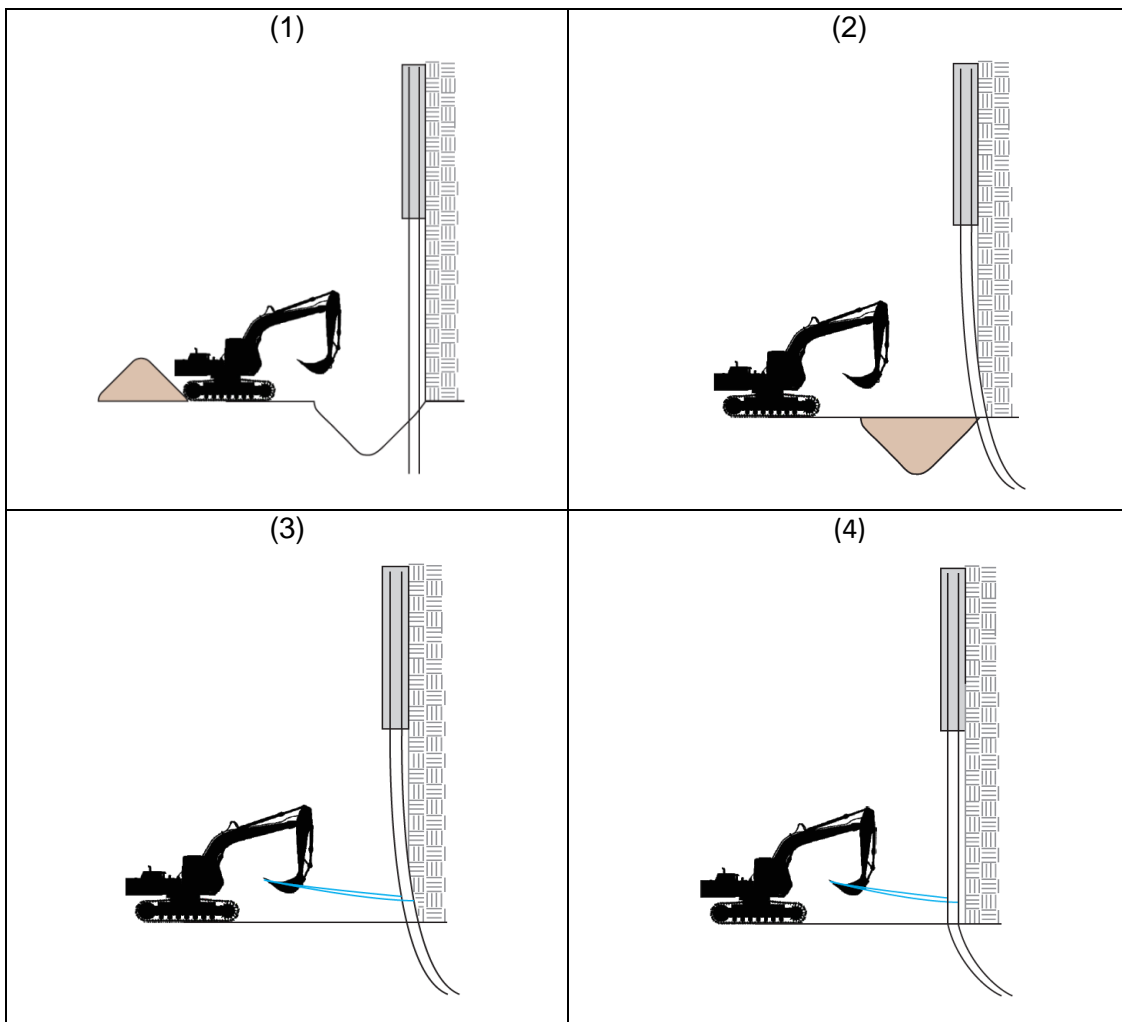
En el esquema 1, se puede observar el proceso erróneo y bastante practicado en empresas con poca experiencia en este tipo de obras. Aquí se nota, claramente, que la malla no está alineada y, por ende, no se cumplirá con el recubrimiento especificado en los planos. Esto repercutirá del anillo siguiente, recurriendo a un grifado de las barras para cumplir con el recubrimiento, pero se repetirá los errores.

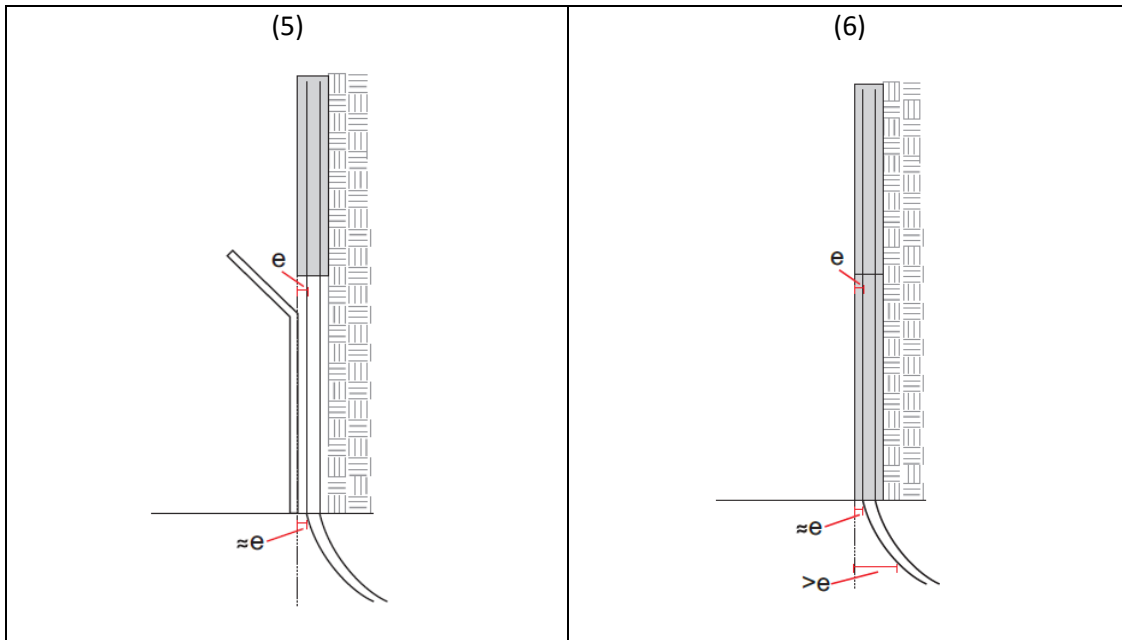


Esquema 1: Proceso Erróneo



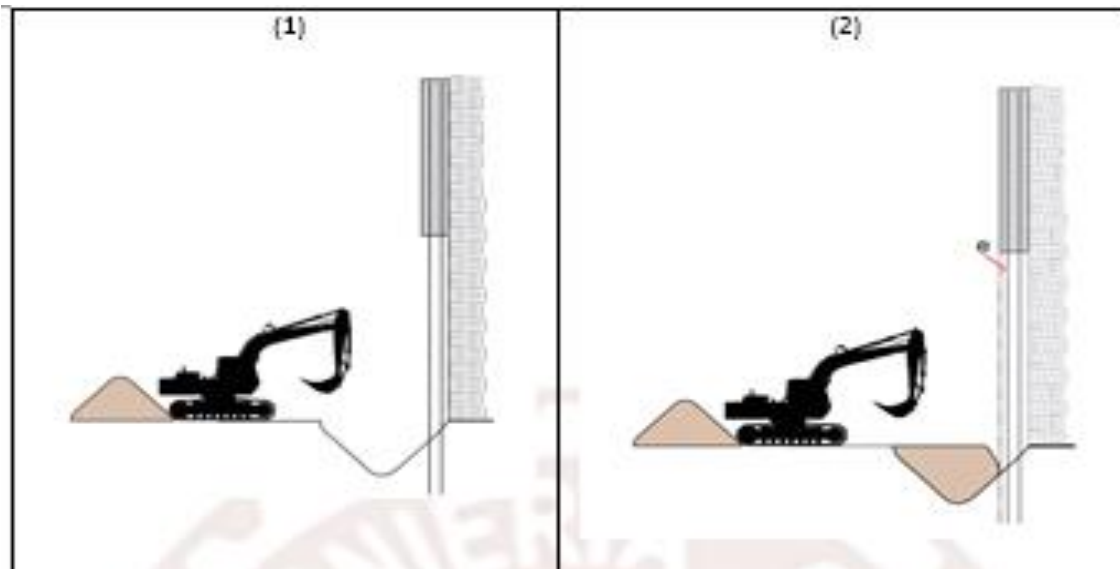
Una forma de corregir este problema se muestra en el esquema 2; en el cual, se usa maquinaria para el tirado de la malla con eslingas, intentando corregir el doblez. Sin embargo, las mechas enterradas no estarán verticales en su totalidad y se generará otra actividad para grifarlas en el siguiente anillo. El procedimiento mostrado en este esquema es una ayuda provisional al esquema 1. 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.

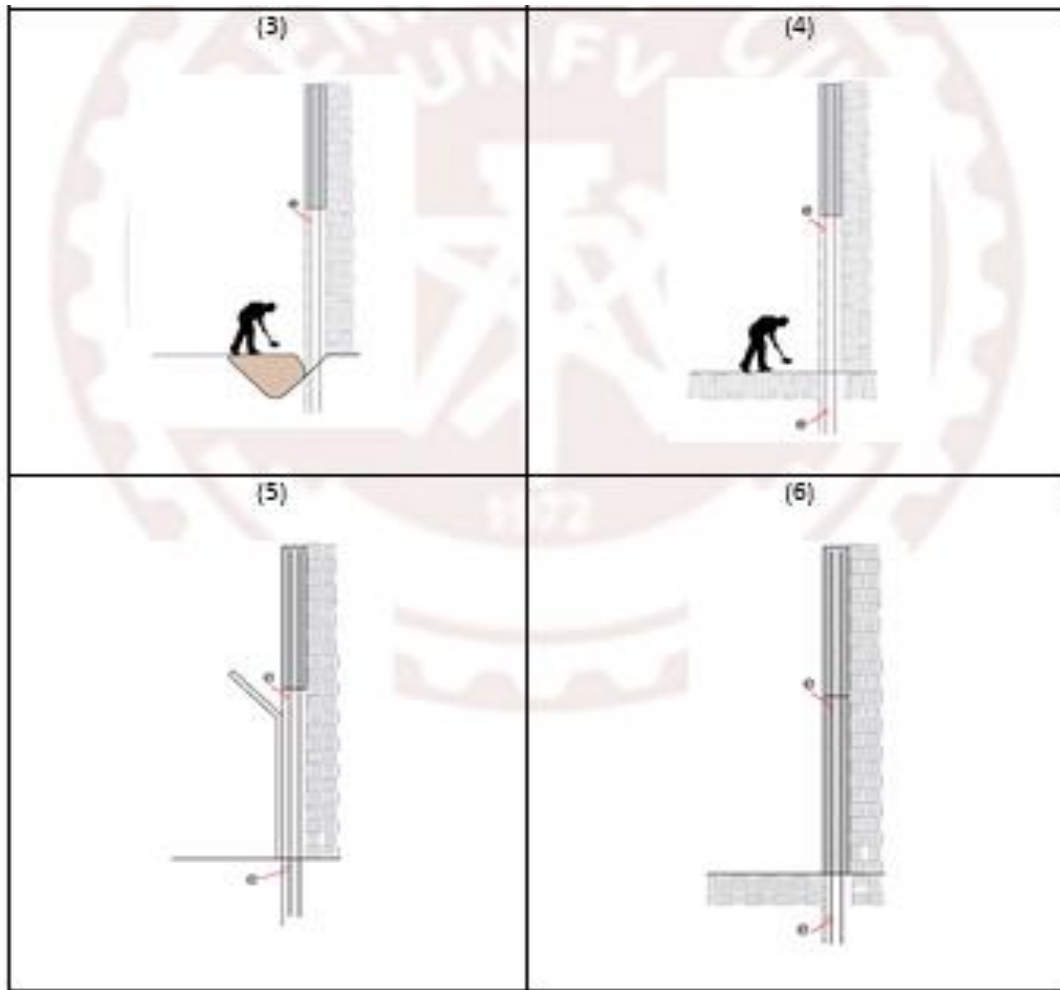




**Esquema 2: Proceso Erróneo Corregido**

En el esquema 3 se muestra los procesos de un correcto enterrado de las mechas de la malla. Aquí nos 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.





**Esquema 3: Proceso Mejorado**

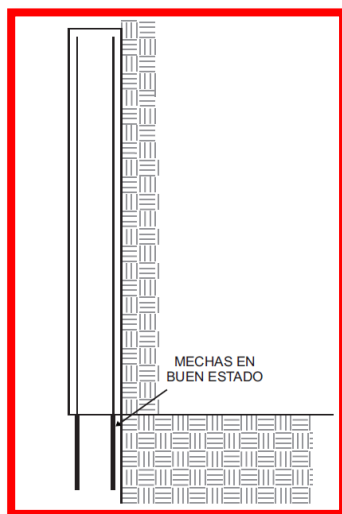
#### **4.6 COLOCACIÓN DE BOLSAS DE PLÁSTICO A LAS MECHAS DE ACERO**

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 4.2.a, se puede notar como las mechas se oxidan al estar en contacto con el terreno.

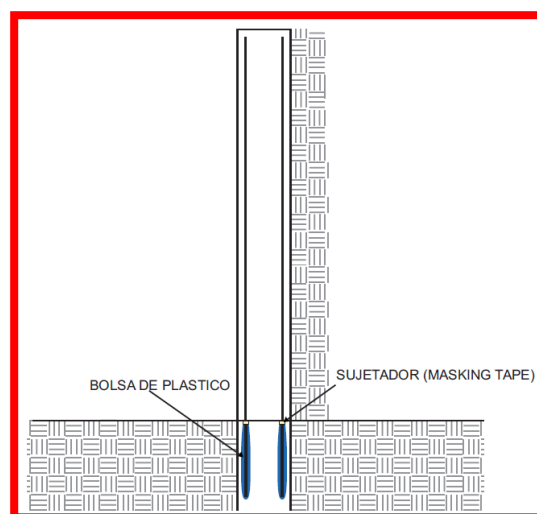


**Figura 4.2.a. Sin protección del acero**

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.



**Figura 4.2.b Sobre\_excavación para mechas**



**Figura 4.2.c Con protección del acero**



Figura 4.2.d

#### 4.7 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 4.4.1a 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 4.4.1b 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.

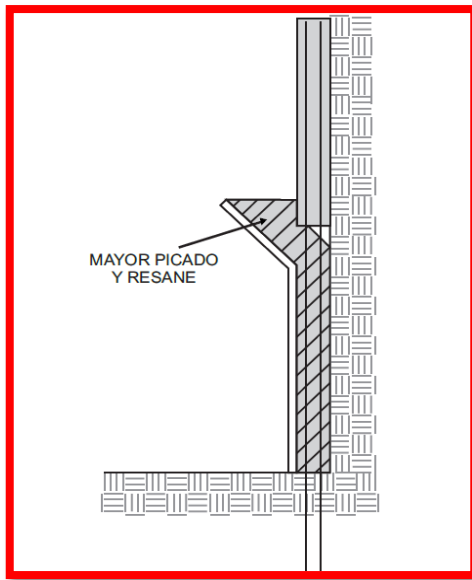


Figura 4.4.1a Sin Chafalán

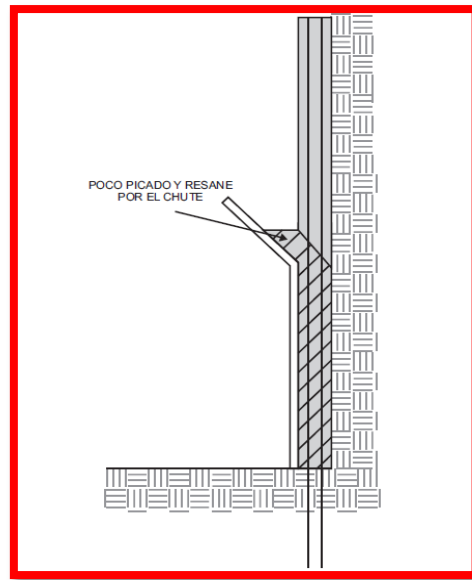


Figura 4.4.1b Con Chafalán

## 2) Unión entre los muros de concretos nuevos y viejos (anillo superior e inferior)

El mal vibrado y la falta del chafalán 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.

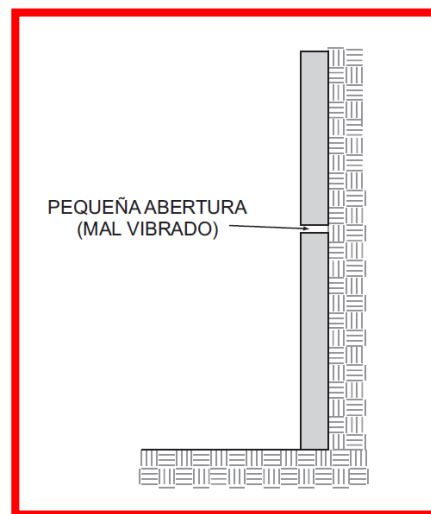


Figura 4.4.2

### 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.

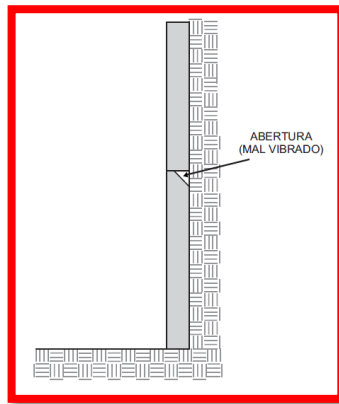


Figura 4.4.3a

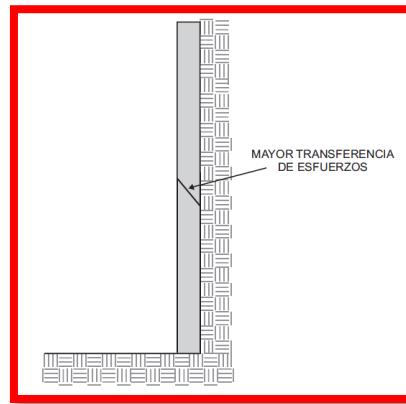


Figura 4.4.3b

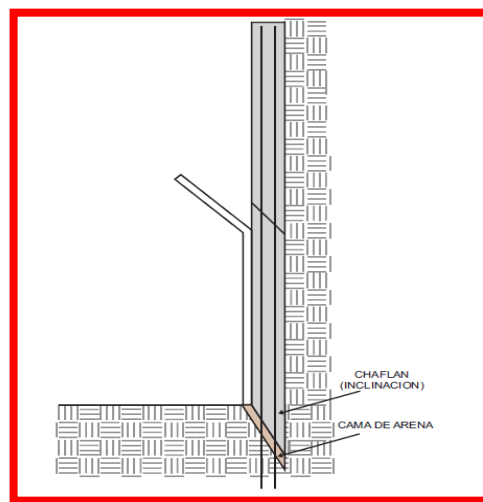


Figura 4.4.3c

#### **4.8 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 chemada) 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 el chute 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 del chute. 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.



---

#### **4.9 AMOLADO DE MUROS ANCLADOS JUSTO DESPUÉS DEL DESENCOFRADO**

Una buena práctica en la construcción de muros anclados es en 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.

Lo normal al ser 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. En cambio, 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.

#### **4.10. 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.

Una actividad recomendable sería tener a una cuadrilla de topógrafos 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 una sobre-excavación excesiva, tanto por parte de excavadoras como por el perfilado a mano. Esto reducirá enormemente el exceso de consumo de concreto acumulado, reduciendo los desperdicios.

#### 4.11 CONTRA-FLECHA HORIZONTAL EN EL ENCOFRADO (MENCIONAR EL % DE DESPLOME EN MUROS SEGÚN LA NORMA).

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 4.7a, 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 4.7b, 4.7c y 4.7d.

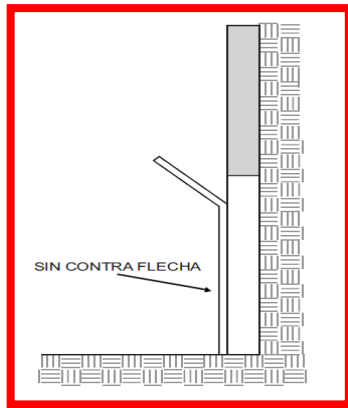


Figura 4.7a

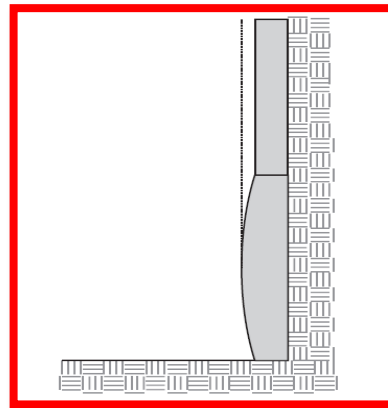


Figura 4.7b

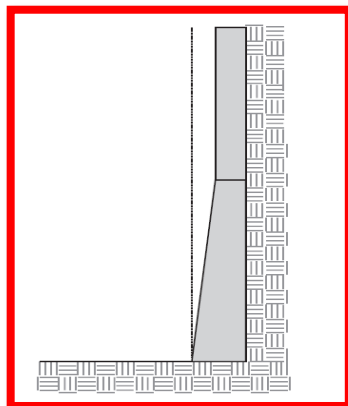


Figura 4.7c

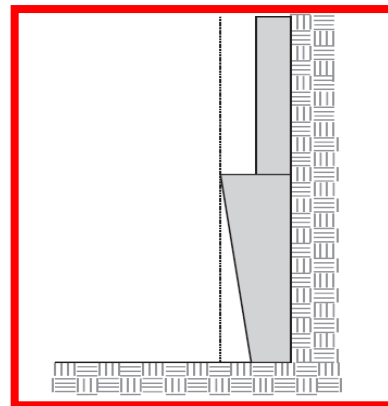


Figura 4.7d

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 curvee 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).

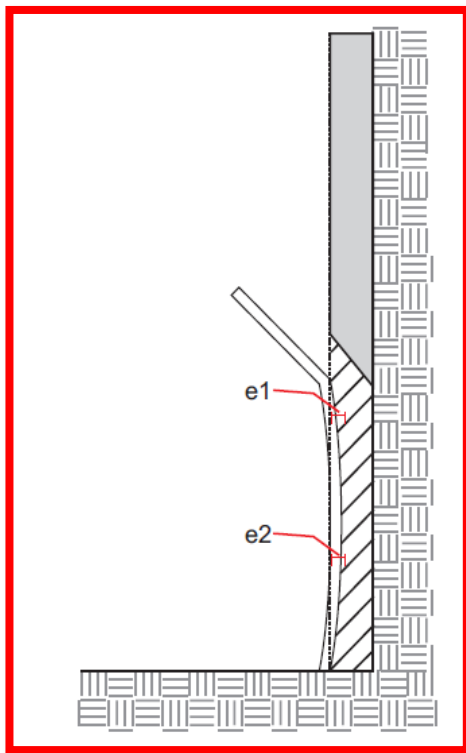


Figura 4.7e

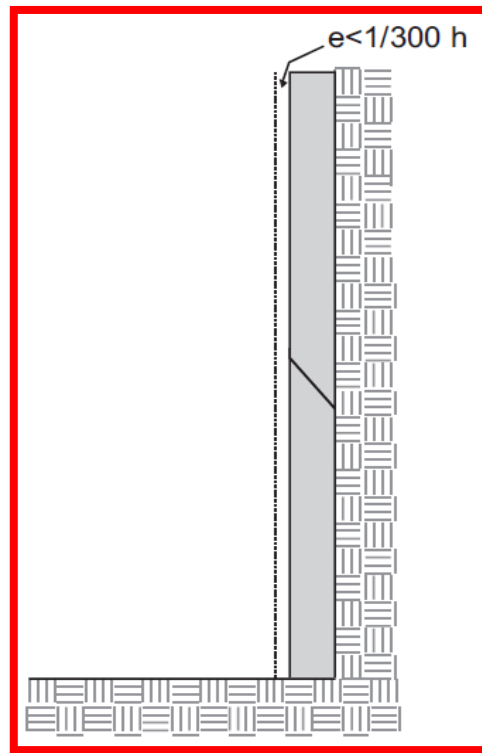


Figura 4.7f

#### **4.12 CANGREJERAS ALREDEDOR DEL PASE DE CABLES**

El refuerzo con una malla menor adyacente a la malla del muro genera cangrejas en el espacio asignado a la placa metálica por donde atraviesan los cables, pues no existe un buen vibrado a esa altura del muro. Esto aparece por el reducido espacio asignado al concreto o porque no se cumple con el recubrimiento especificado, obligándolo a ocasionar cangrejas.

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.

#### **4.13 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.

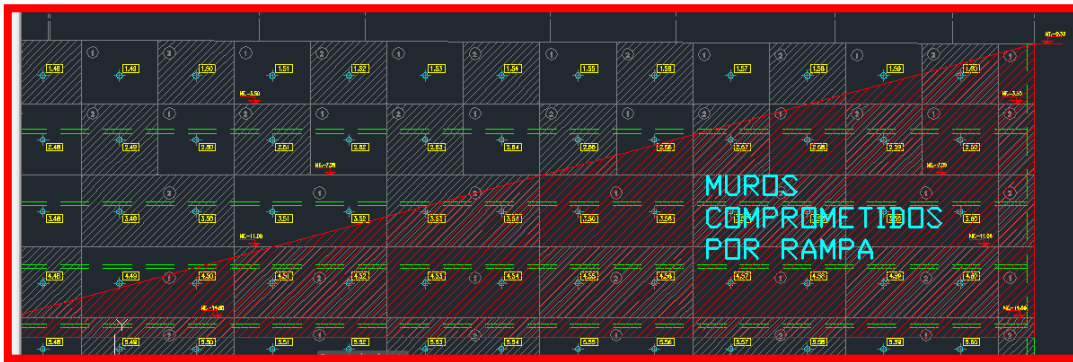


Fig. 0.13.a La demora en eliminación de la rampa puede generar que no se puedan construir a tiempo varios muros anclados comprometidos. Después la construcción de solo estos muros mientras se elimina la rampa suele ser muy lenta.

Un gran 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.



Fig. 0.13.b Las fajas transportadoras pueden trasladar el material de excavación directamente a un volquete en el exterior sin necesidad de utilizar una rampa.

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, sin embargo, 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

- 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.

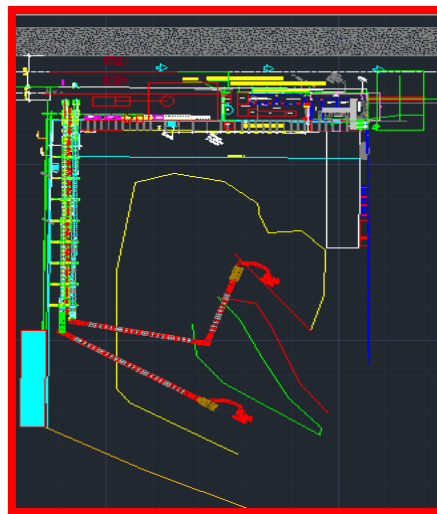


Fig. 0.13.c Fajas transportadoras con una y dos transiciones



Además, 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.

## CAPÍTULO V:

### RESULTADOS

#### 5.1. ANÁLISIS DE CARTAS BALANCE

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. Las actividades fueron agrupadas de acuerdo a lo explicado en el acápite 2.3.2. y a partir de esto se obtuvieron los siguientes resultados:

- Cuadrilla 1: Inicio: 08:10am – Fin: 04:10pm

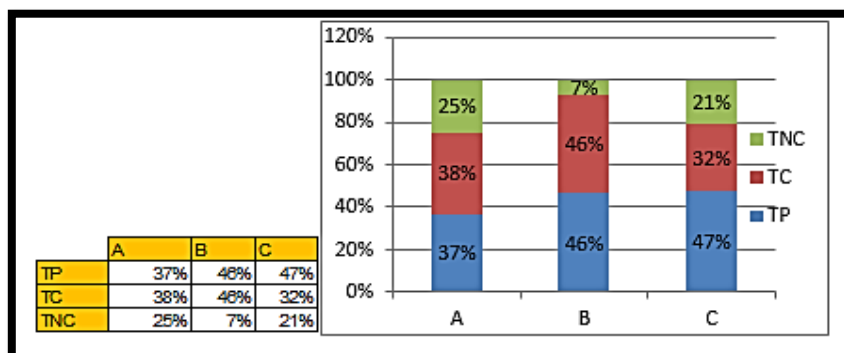


Tabla 1: Porcentaje de TP, TC y TNC de cada obrero de la cuadrilla 1

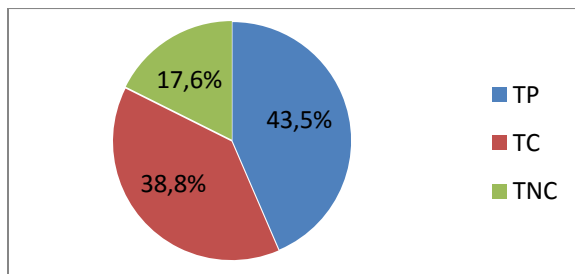


Tabla 2: Porcentaje de TP, TC y TNC de cuadrilla 1 en total.

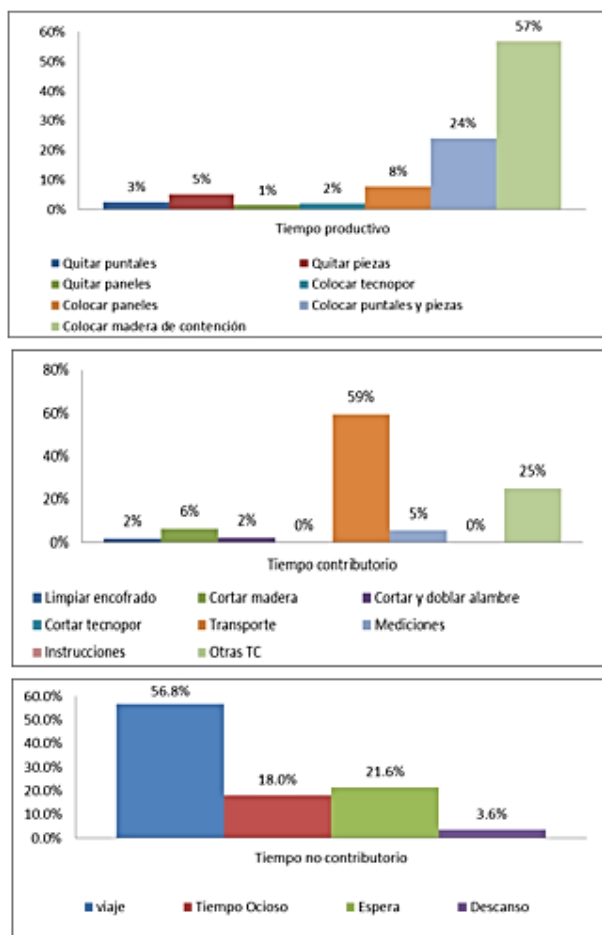
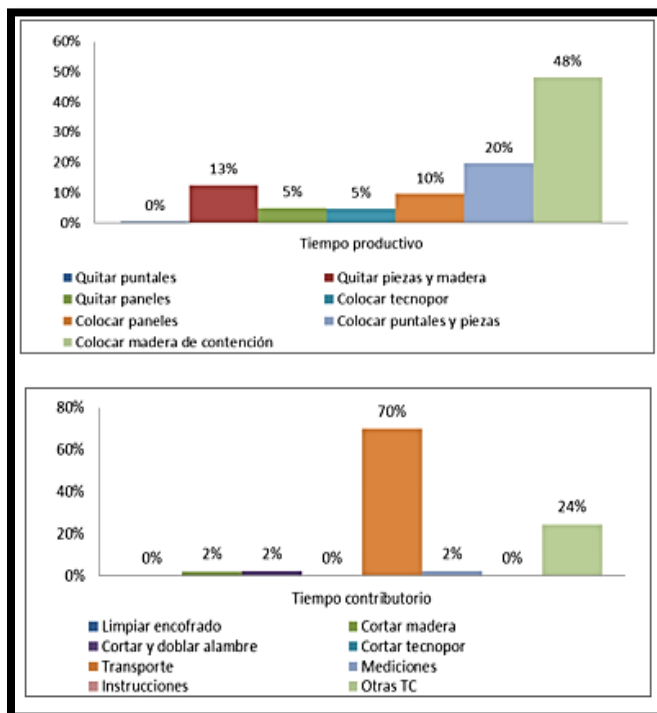
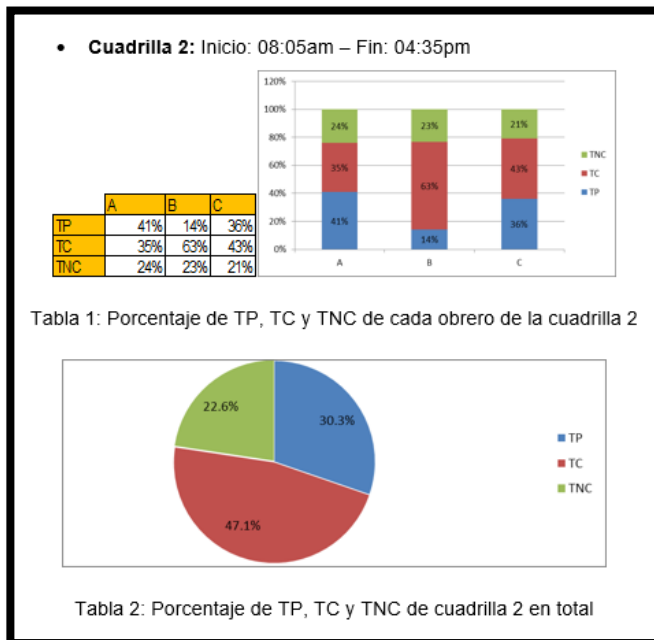


Tabla 3: Distribución detallada de tiempos de TP, TC y TNC de cuadrilla 1.

- Cuadrilla 2: Inicio: 08:05am – Fin: 04:35pm



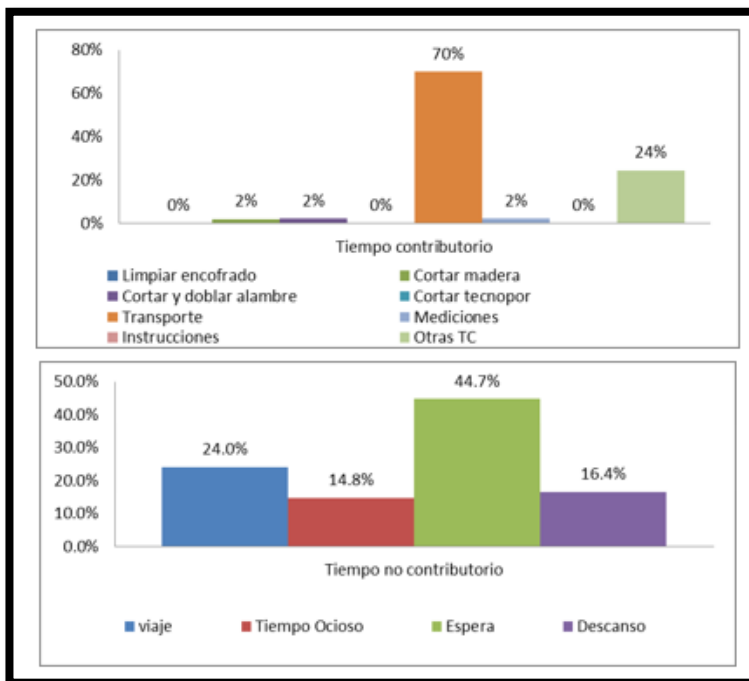


Tabla 3: Distribución detallada de tiempos de TP, TC y TNC de cuadrilla 2

- Cuadrilla 3: Inicio: 08:05am – Fin: 01:05pm

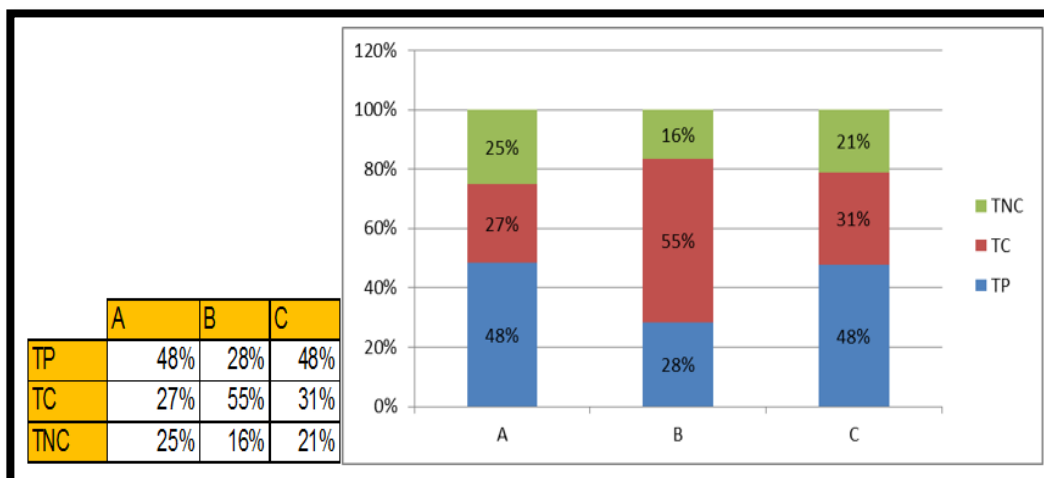


Tabla 1: Porcentaje de TP, TC y TNC de cada obrero de la cuadrilla 3

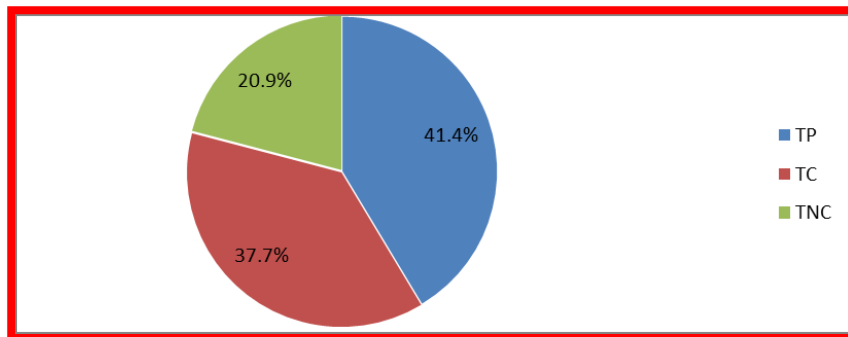


Tabla 2: Porcentaje de TP, TC y TNC de cuadrilla 3 en total

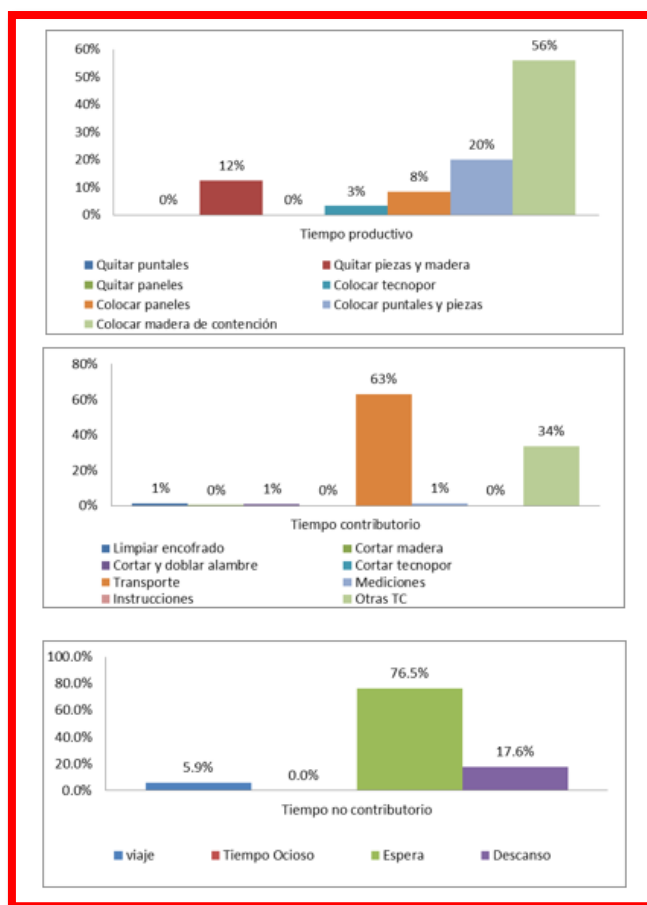
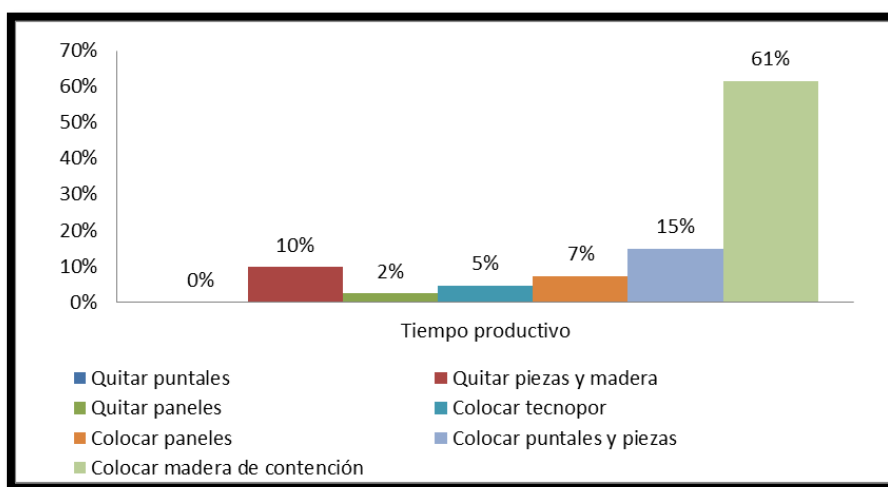
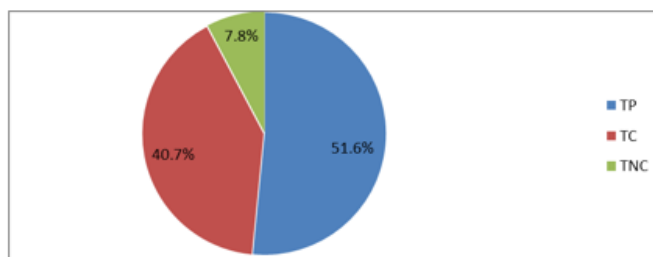
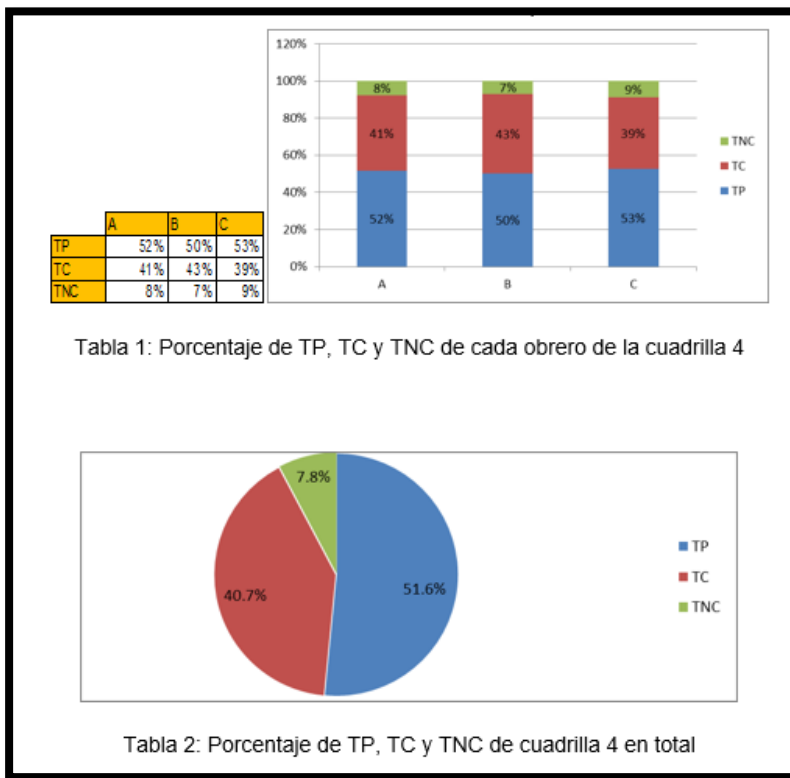
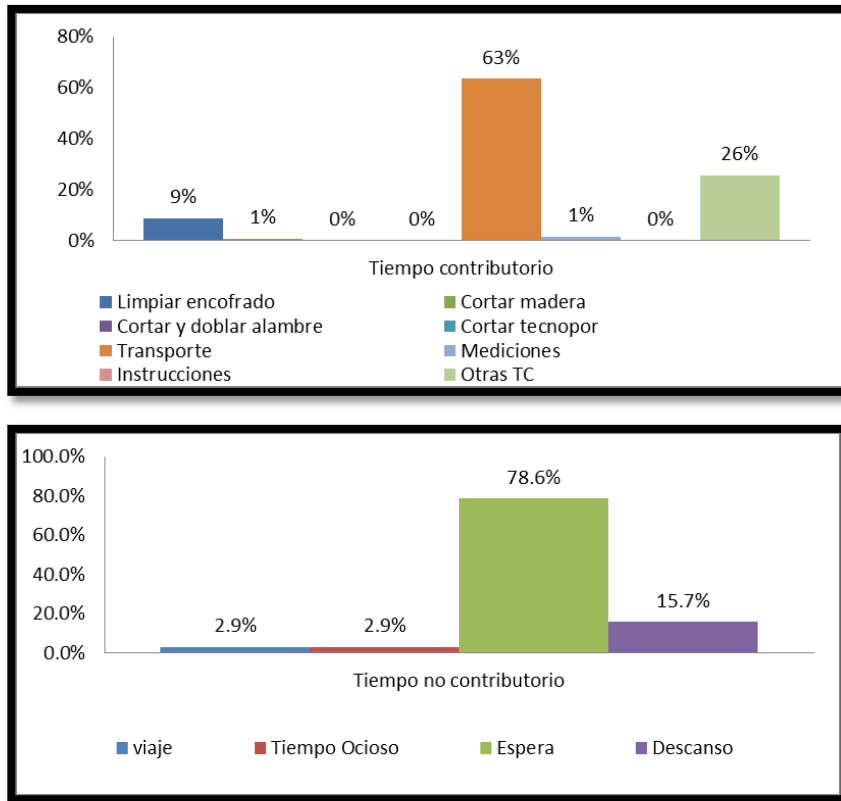


Tabla 3: Distribución detallada de tiempos de TP, TC y TNC de cuadrilla 3

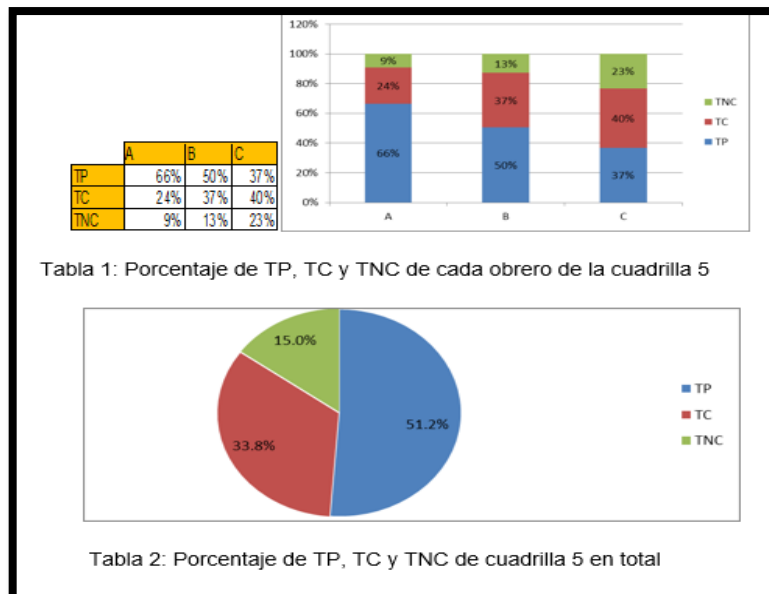
- Cuadrilla 4: Inicio: 08:00am – Fin: 01:00pm





**Tabla 3: Distribución detallada de tiempos de TP, TC y TNC de cuadrilla 4**

- Cuadrilla 5: Inicio: 08:00am – Fin: 01:20pm





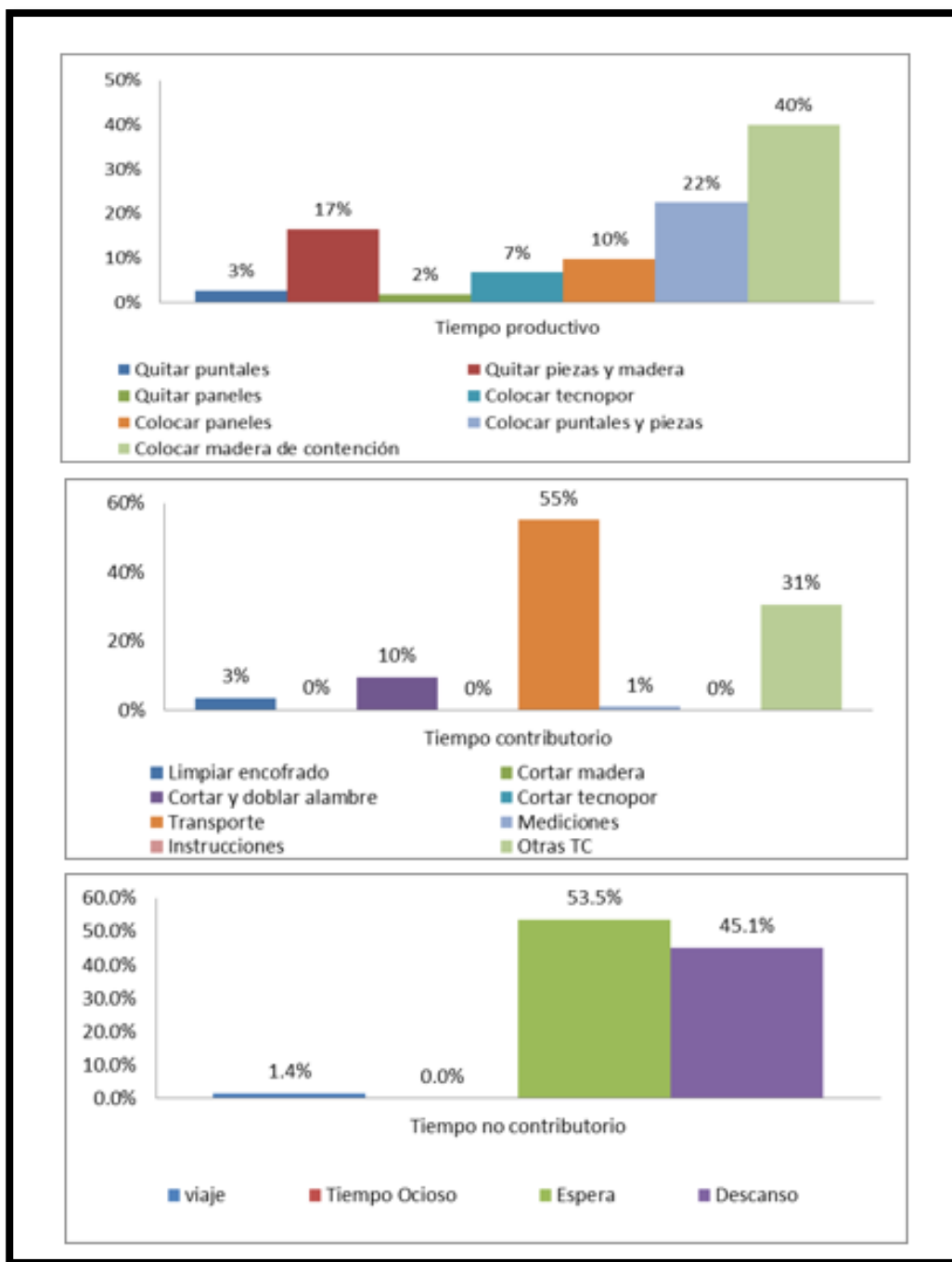
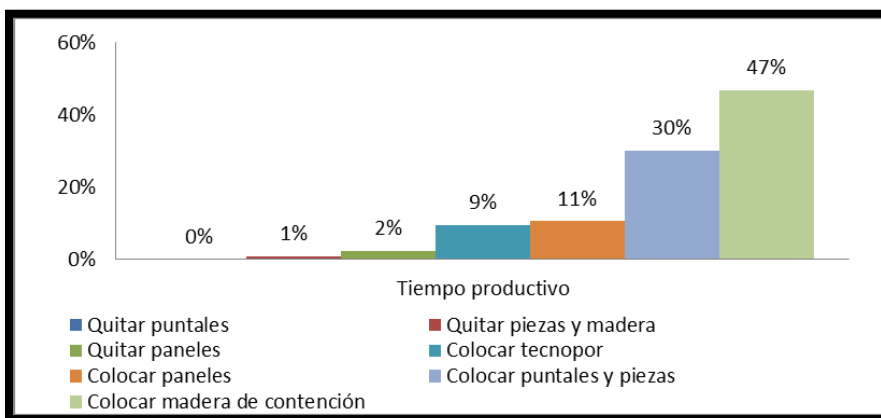
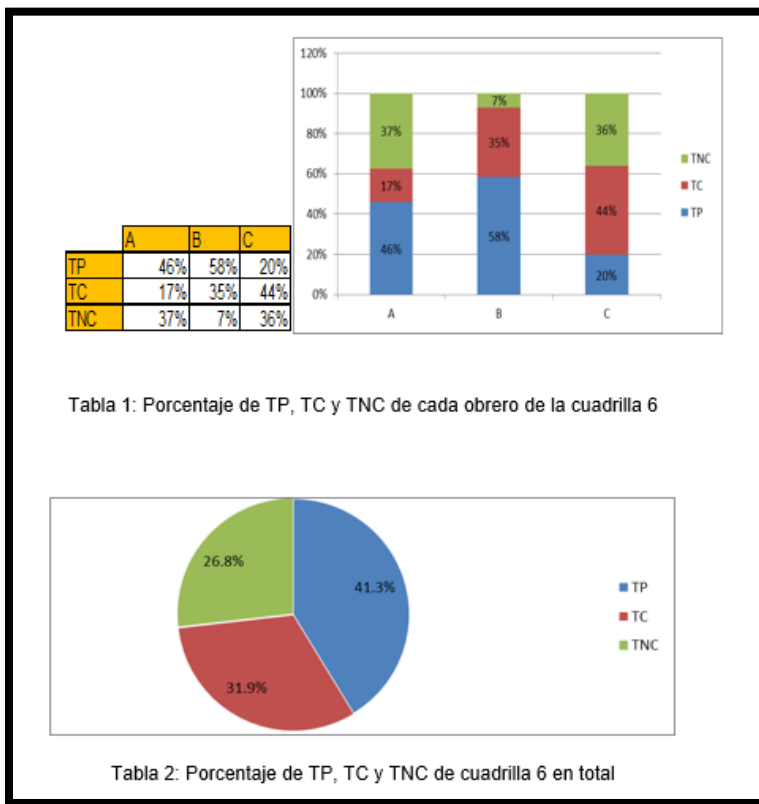
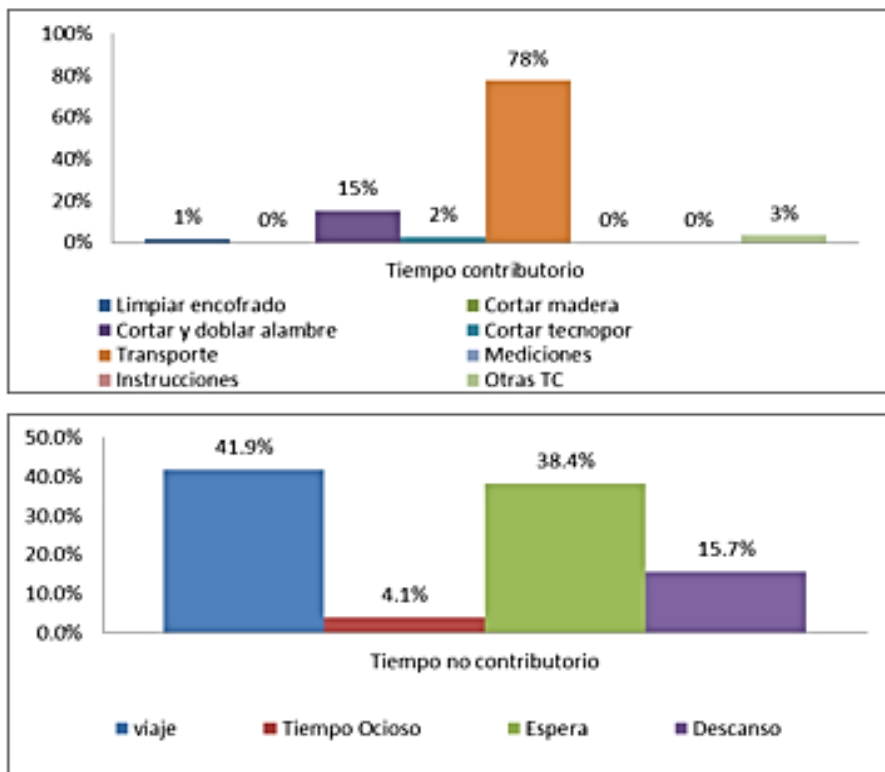


Tabla 3: Distribución detallada de tiempos de TP, TC y TNC de cuadrilla 5

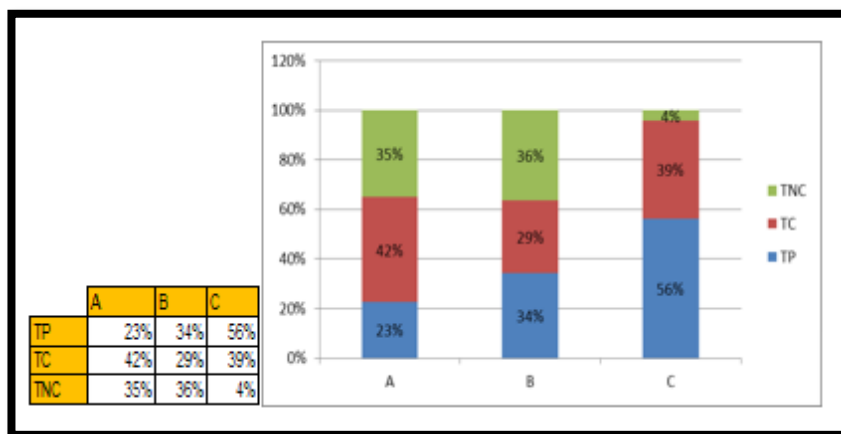
- Cuadrilla 6: Inicio: 08:00am – Fin: 11:45am





**Tabla 3: Distribución detallada de tiempos de TP, TC y TNC de cuadrilla 6**

- Cuadrilla 7: Inicio: 08:10am – Fin: 12:00pm



**Tabla 1: Porcentaje de TP, TC y TNC de cada obrero de la cuadrilla 7.**

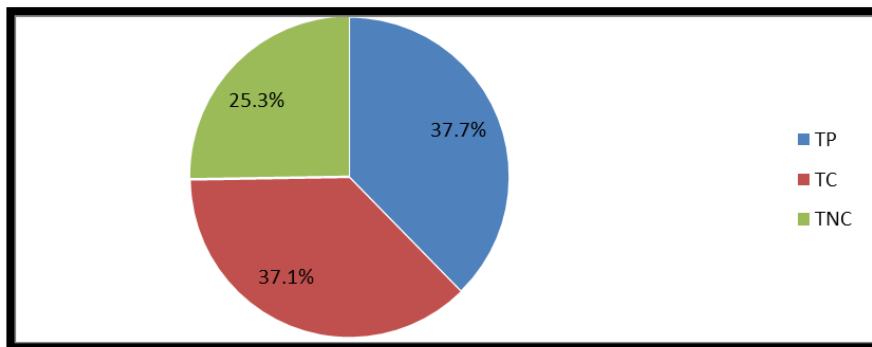


Tabla 2: Porcentaje de TP, TC y TNC de cuadrilla 7 en total

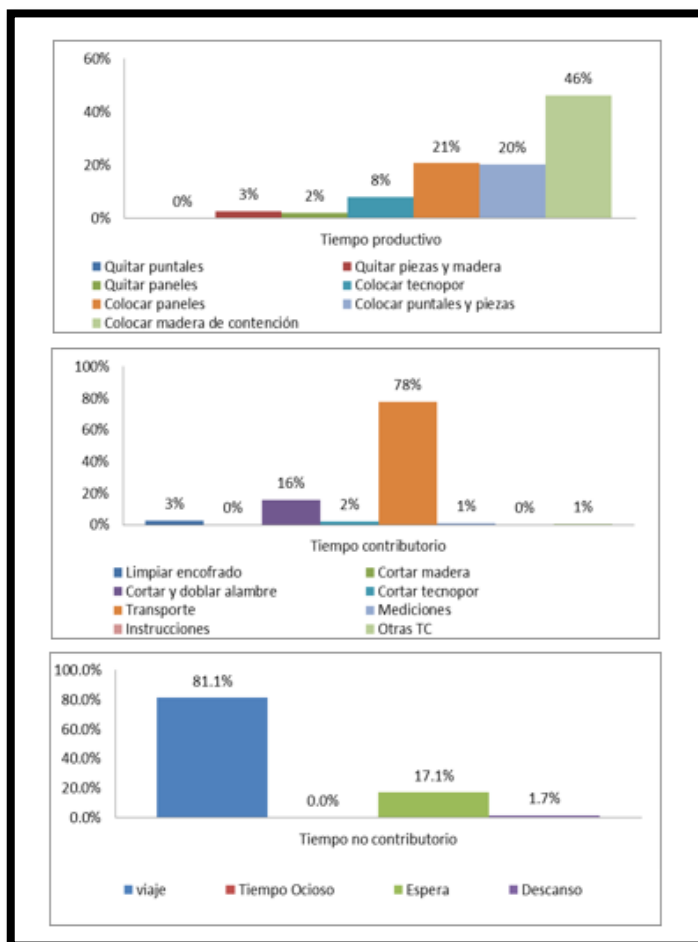
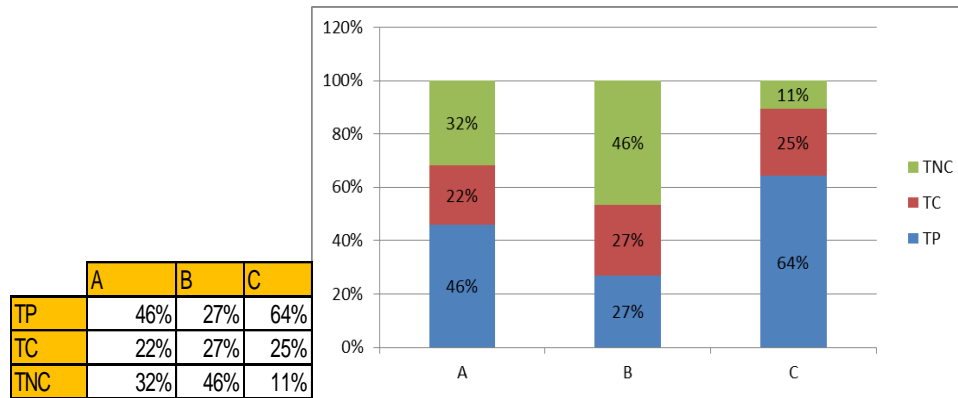
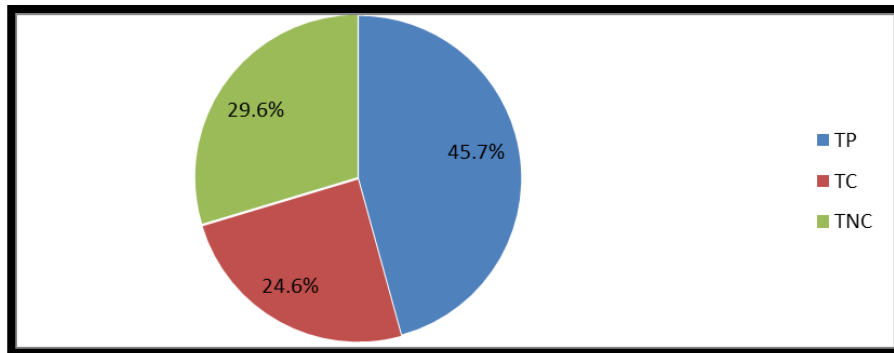


Tabla 3: Distribución detallada de tiempos de TP, TC y TNC de cuadrilla 7

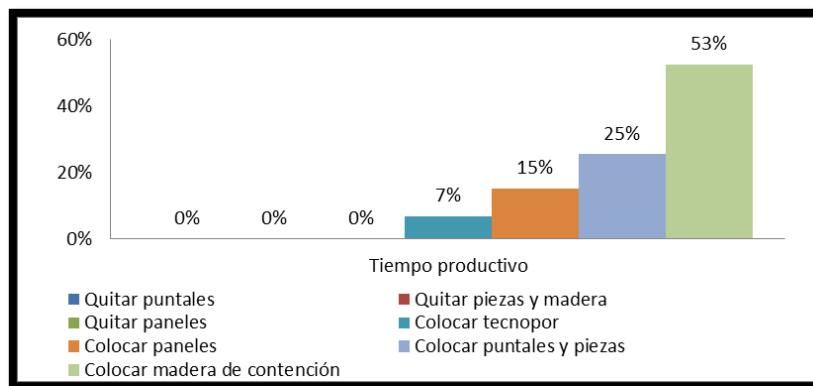
- Cuadrilla 8: Inicio: 08:10am – Fin: 11:55am



**Tabla 1: Porcentaje de TP, TC y TNC de cada obrero de la cuadrilla 8**



**Tabla 2: Porcentaje de TP, TC y TNC de cuadrilla 8 en total.**



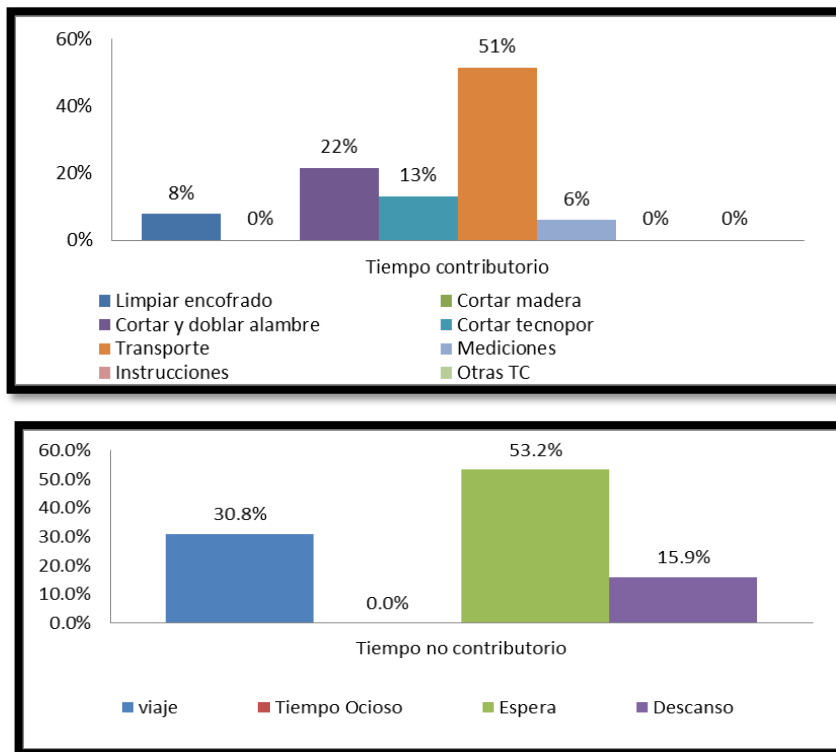


Tabla 3: Distribución detallada de tiempos de TP, TC y TNC de cuadrilla 8

- Cuadrilla 9: Inicio: 08:10am – Fin: 02:25pm

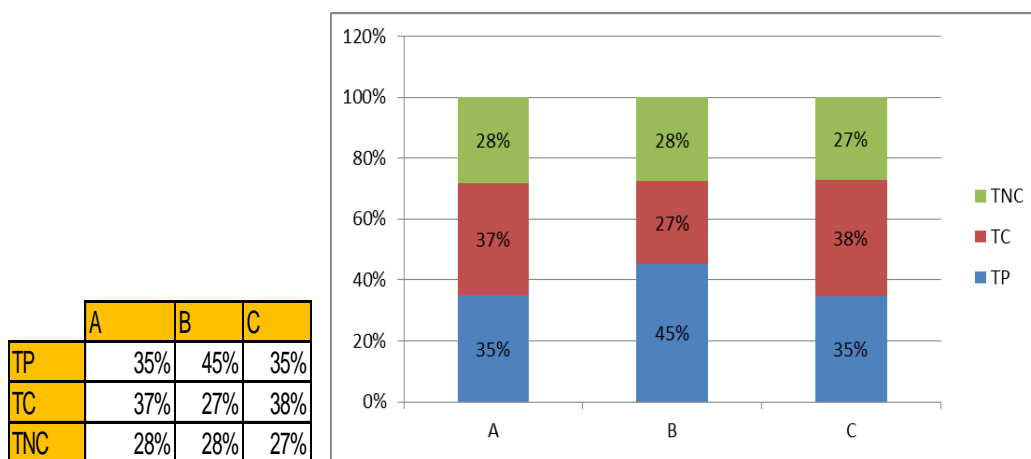


Tabla 1: Porcentaje de TP, TC y TNC de cada obrero de la cuadrilla 9.

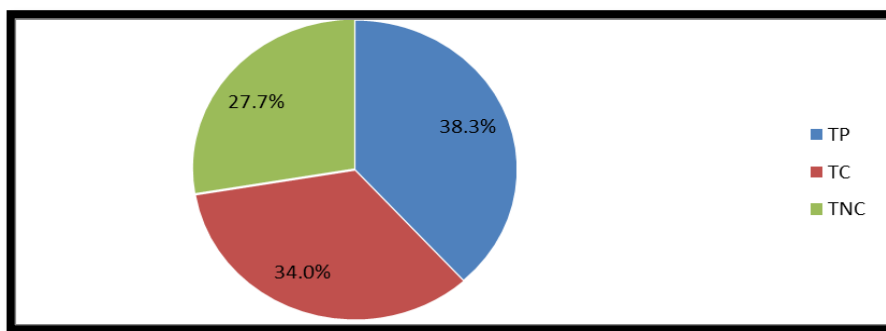


Tabla 2: Porcentaje de TP, TC y TNC de cuadrilla 9 en total.

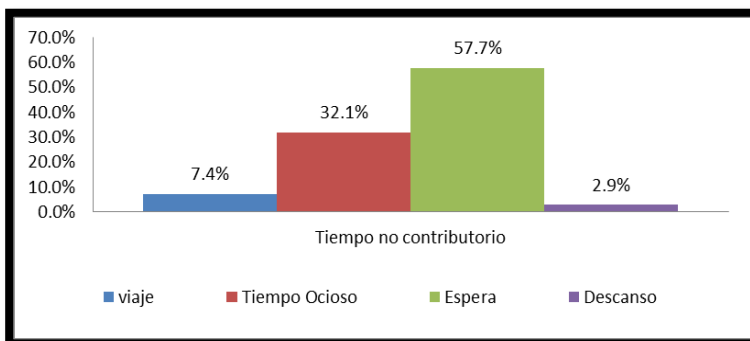
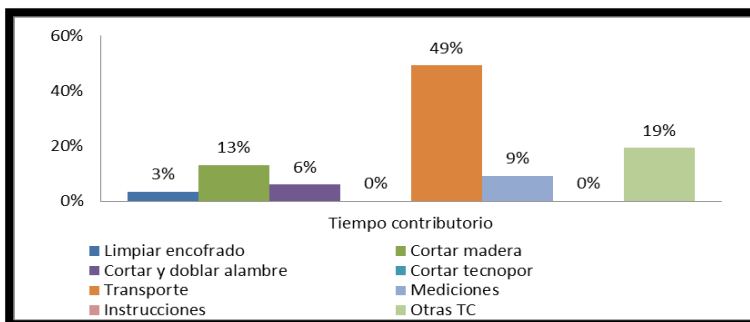
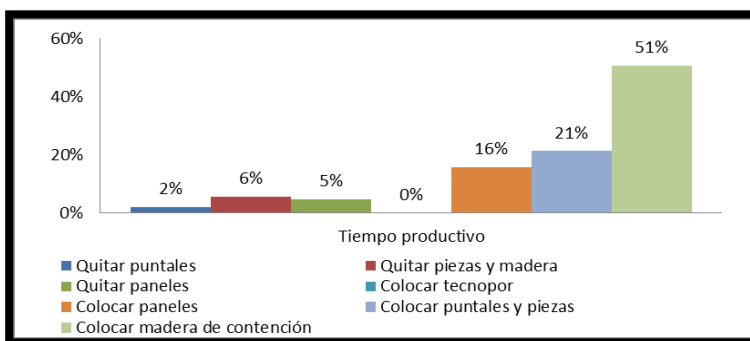


Tabla 3: Distribución detallada de tiempos de TP, TC y TNC de cuadrilla 9.

En este acápite se realizará el análisis y muestra de resultados de los datos.

## **5.2 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO OPTIMIZADO**

La Optimización de los equipos de encofrado y re apuntalamiento en base a una adecuada sectorización, apoyada en un metrado riguroso y una minuciosa interacción, nos indica que los costos de alquiler pueden reducirse hasta en un 20%.

Estas mejoras en la gestión de producción requieren de un equipo técnico diverso y solvente. Ello, de acuerdo a los datos de los proyectos evaluados, significa un incremento de un 10% en los costos estimados de gastos generales.

### **I. Proceso de ejecución.**

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

### **II. Costo**

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

- ***Diseño alternativo de distribución de paneles en muro anclados***

Gracias a este diseño no se necesitó ejecutar el resane típico a cinco líneas de costuras. Este consume 2.67HH por cada ml a tratar. La hora hombre de un operario albañil está cotizada en S/.14.00 aproximadamente, es decir que cada metro lineal por resanar costaría S/.37.60. El perímetro del proyecto es de 380m, pero solo 280m están utilizando muros anclados desde el primer anillo.



Esto genera un total 1,400ml ahorrados en resane, los cuales representarían un aproximado de S/.52,000.00 ahorrados en el proyecto gracias a esta modulación.

- ***Diseño alternativo para el tratamiento de cachimbas***

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

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

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

### **III. Productividad**

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

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

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

#### **IV. Calidad**

En una modelación de encofrado tradicional, es normal que las costuras dejadas por la unión de los muros de sótano se ubiquen en medio de lo será la pared del sótano.

Estas franjas que se generan en cada anillo tendrán como consecuencia un desplome notorio en cada nivel de sótanos.

Este desplome siempre estará presente debido a que el muro inferior sobresaldrá unos milímetros en comparación al paño de nivel superior, son vaciados en diferentes etapas.

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

#### **V. Seguridad**

El polvo de cemento es uno de los principales agentes de complicaciones respiratorias en los albañiles. Su constante exposición hacia este podría causar problemas 80 tan graves como tumores en los pulmones, por ende es importante que el contratista brinde los equipos de protección necesarios para esta labor y de las charlas de inducción acerca del correcto uso de estas a los trabajadores.

Sin embargo, estas precauciones no siempre son efectivas al 100%, impactando en la salud de tanto trabajadores como ingenieros, más aún con la gran cantidad de niveles de sótanos que se tiene hoy en día, escenario en el cual la ventilación y extracción del polvo se dificulta cada vez más.

La ventaja de poseer un panelado optimizado es que nos da como resultado un muro prácticamente acabado, entonces se posee una cuadrilla de albañiles cuya labor es ejecutar la limpieza de los muros (solaqueo básico) a la par con la construcción de los anillos, es decir que esta cuadrilla baja limpiando todos los anillos.

Al ejecutar este procedimiento durante el movimiento de tierras, el polvo generado en consecuencia de este procedimiento es liberado directamente a la atmósfera.

Esta situación es una gran ventaja para la cuadrilla de albañiles, puesto que cuando toque realizar los trabajos de albañilería en los sótanos la gran mayoría del polvo ya se habrá eliminado.

## **CONCLUSIONES**

La investigación tuvo como propósito hacer una comparación de como una estructura convencional puede mejorar. Conforme a nuestro objetivo, los resultados positivos en la aplicación del First run Study, en la construcción de muros anclados, pues se concluyó el proyecto satisfactoriamente bajo los requerimientos de optimización de costo y tiempo. Se demostró, que el uso del First run Study en la ejecución de un proyecto, resulta beneficioso.

Los muros anclados son necesarios en la actualidad para un proyecto de edificaciones en la ciudad de Lima debido a la gran cantidad de sótanos que se requiere, siendo este procedimiento de sostenimiento de taludes el más seguro para los niveles bajo tierra a los que se llegan. A pesar de tratarse de una sola etapa del proyecto, esta presenta una gran cantidad de variables que deben ser estudiadas y dominadas para poder presentar una alternativa constructiva que genere una mejora en los rubros más importantes de todo proceso como son el costo, el plazo, la calidad y la seguridad.

La partida de muros anclados representa el 3.32% del total del presupuesto venta del proyecto, siendo un monto por encima de los S/. 3'000,000.00. Además, el tiempo utilizado en su ejecución es el 30% del cronograma venta del proyecto. Entendiendo la importancia que tiene la construcción de muros anclados en el proyecto, se identificaron las observaciones más recurrentes durante su proceso constructivo, la causa raíz de su aparición y se plantearon dos alternativas constructivas para optimizar la construcción de los muros.

Se identificó una gran cantidad de observaciones por burbujas en el proyecto, para lo cual se identificaron dos causas principales: la forma y tiempo de vibrado durante el vaciado y el efecto del desmoldante en la limpieza de las latas de encofrado. Para estas causas se presentaron posibles medidas preventivas y se cuantificaron para validar su funcionamiento. Se realizó un control exhaustivo de la cantidad de desplomes para todos los muros del proyecto, el cual evidencia que los anillos en los cuales ya entra a tallar el modelado de los paneles (4-9) poseen un menor desplome en su superficie. Queda comprobado.

## **RECOMENDACIONES**

1. En general toda operación de construcción es susceptible de ser mejorada ya sea al inicio de la misma o durante su ejecución. Si se piensa en la mejora continua, se tendrá que buscar la optimización de los procesos constructivos a lo largo de todo el tiempo que dure la obra.
2. Se debe realizar un análisis de desviaciones entre el presupuesto real y el previsto, y que determinan de manera cuantitativa el impacto de las variaciones de las condiciones iniciales supuestas.
3. Para motivar la productividad y el cumplimiento de los programas semanales, es recomendable establecer incentivos por cumplimiento diario y/o semanal de tareas.
4. Se debe crear cuadrillas de trabajo especializadas en una sola partida, la cual ejecutaran a lo largo de todo el proyecto, de esta manera mejoramos la curva de aprendizaje del personal.
5. Es responsabilidad de cada empresa iniciar el cambio de modelo productivo, porque en el contexto actual del mundo globalizado que nos genera mayor competencia, sino mejoramos nuestra productividad no podremos tener éxito en el futuro.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Galarza M. Desperdicio de materiales en obras de construcción civil, métodos de medición y control. Tesis para optar por el Título profesional de Ingeniero Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú; 2011.
- García V. Guía práctica para la evaluación de proyectos. Tesis para optar Grado Académico de especialista en Construcción. Xalapa: Universidad Veracruzana; 2012.
- Ishiyama R. Temas originales para proyectos de investigación. Esculapio 2004 mayo-agosto; 4(2): 73-75.
- Rodríguez, Walter (2013) Gerencia de construcción y del tiempo-costo. Programación y control de obras. Editorial Macro. Perú.
- Ramos Ríos Jorge; 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; 2015

## **DIRECCIONES ELECTRÓNICAS**

- [Blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/109/2011/09/Muros-anclados-AB.pdf](http://Blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/109/2011/09/Muros-anclados-AB.pdf)
- [Repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/753/1/99683.pdf](http://Repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/753/1/99683.pdf)
- [www.academia.edu/8530746/Comparativo económico - calzaduras](http://www.academia.edu/8530746/Comparativo_económico_-_calzaduras)
- [www.geofortis.co.cr/.../Procedimiento%20constructivo%20muro%20anclado.pdf](http://www.geofortis.co.cr/.../Procedimiento%20constructivo%20muro%20anclado.pdf)
- [www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/handle/usmp/687](http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/handle/usmp/687)
- [www.portaldeingenieria.com/archivos/publicaciones/usuarios/como lograr un sistema efectivo.pdf](http://www.portaldeingenieria.com/archivos/publicaciones/usuarios/como_lograr_un_sistema_efectivo.pdf)

## ANEXOS

### PANEL FOTOGRÁFICO E IMÁGENES RELACIONADAS



Figura 1. Taladrado de terreno para recibir a los cables de anclaje. 0.1



Figura 2. Inyección de concreto.





Figura 3. Inyección de concreto en cables de anclaje



Figura 4. Colocación de acero de Muros anclados





**Figura 5. Colocación de acero de Muros anclados**



**Figura 6. Encofrado de Muros anclados**



**Figura 7. Uso de contrafuerte en el encofrado con excavadora.**



**Figura 8 .Entubado de tubería para vaciado**





**Figura 9. Ejecución de banquetta para encofrado con retroexcavadora**



**Figura 10. Tensado de anclajes de muro**



**Figura 11. Tensado de anclajes de muros**



**Figura 12. Tensado de anclajes de muros 1er anillo**

Figura 13. Acero de refuerzo en muros anclados proyecto AMOF

ACERO DE REFUERZO EN MURO ANCLADO PROYECTO AMOF 2 SOTANOS						
partida	descripción	Und.	N. varillas	cantidad de Kg.	P.U	Parcial S./
1	Refuerzo adicional de acero de 1/2" @ 0.15 m	kg	235	2086,67	0,83	1731,9361
				costo directo		1731,9361
				IGV 18%		311,75
				<b>Total a facturar</b>		<b>2043,68</b>

ACERO EN VERTICALES DE MUROS ANCLADOS AMOF SOTANOS						
partida	descripción	Und.	N. varillas	cantidad de Kg.	P.U	Parcial S./
1	acero de 3/8" en muros doble malla @ 0.20 m	kg	2089	10526,03	0,83	8736,6049
2	acero de 3/8" en placas doble malla @ 0.20 m	kg	899	4526,31	0,83	3756,8373
3	acero de 1/2" en placas doble malla @ 0.20 m	kg	366	3256,81	0,83	2703,1523
4	acero de 5/8" en columnas	kg	348	4846,21	0,83	4022,3543
5	acero de 3/8" en columnas	kg	486	2446,89	0,83	2030,9187
				25602,25		21249,87
				IGV 18%		3824,98
				<b>Total a facturar</b>		<b>25074,84</b>

Figura 14. Acero en verticales de muros anclados

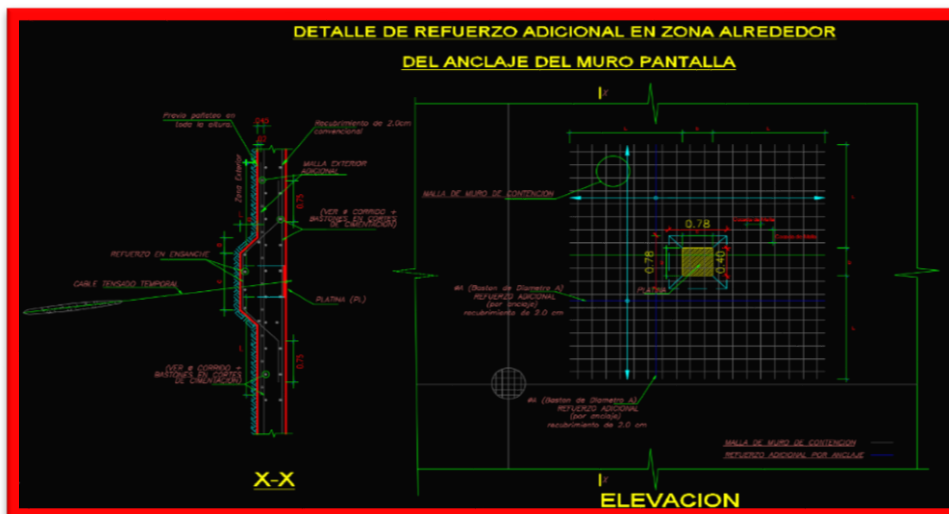


Figura 15. Detalle de refuerzo adicional en zona alrededor del anclaje del muro pantalla