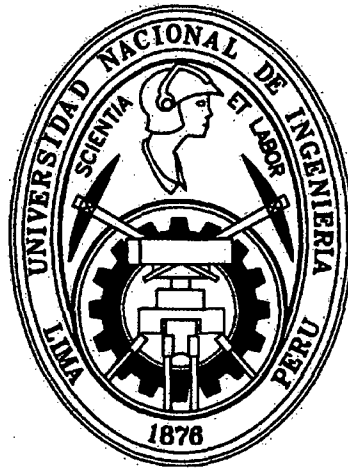


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANÁLISIS CUALITATIVO DE LOS MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN  
DE EXCAVACIONES PROFUNDAS: MURO PANTALLA Y  
CALZADURA, EN EL DISTRITO DE SAN ISIDRO.**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**ENRIQUE MENDOZA LAU**

**LIMA – PERU**

**2010**

**Digitalizado por:**

**Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse**

*Esta Tesis está dedicada con mucho cariño a mis padres por todo el apoyo y confianza que me brindaron desde el inicio, al Dr. Teófilo Vargas por ilustrarme con sus conocimientos durante toda la investigación y a Choylin por darme ese empuje para poder concluirla.*

## ÍNDICE

### RESUMEN

### LISTA DE CUADROS

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE GRÁFICOS

ii

### INTRODUCCIÓN

1

### CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

4

#### 1.1. Generalidades

4

#### 1.2 Definición y descripción de los tipos de muro de contención

5

##### 1.2.1 Generalidades

5

##### 1.2.2 Tipos de muros de contención

5

#### 1.3 Definición y características del Muro Pantalla y sus componentes

6

##### 1.3.1 Generalidades

6

##### 1.3.2 Sistema de anclajes

7

#### 1.4 Definición y características de las Calzaduras

12

##### 1.4.1 Generalidades

12

##### 1.4.2 Tipos de Calzaduras

13

##### 1.4.3 Precauciones en las Calzaduras Profundas

14

##### 1.4.4 Responsabilidad por la Calzadura

16

### CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

17

#### CONSTRUCTIVOS

##### 2.1 Procesos del sistema constructivo del Muro Pantalla

17

##### 2.2 Procesos del sistema constructivo de las Calzaduras

23

<b>CAPÍTULO III: EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS</b>	<b>27</b>
3.1 Método Delphi	27
3.1.1 Introducción	27
3.1.2 Características	28
3.1.3 Pasos para aplicar el Método Delphi	28
3.2 Teoría de los Conjuntos Difusos	31
3.2.1 Introducción	31
3.2.2 Definiciones	33
3.2.3 Funciones de Pertenencia	35
3.3 Escala de Likert	36
3.3.1 Introducción	36
3.4 Mapa de Procesos y la aplicación en los métodos a investigar	38
3.5 Recolección de Información.	50
3.5.1 Diseño de la encuesta	50
3.5.2 Tamaño de la muestra	51
3.5.3 Valores atípicos de la muestra	52
3.6 Análisis y evaluación de los resultado	53
3.6.1 Análisis del Muro Pantalla	53
3.6.2 Análisis de las Calzaduras	57
3.6.3 Análisis comparativo de los métodos Muro Pantalla y Calzaduras según el número de procesos involucrados	61
a) Plazo	62
b) Seguridad	63
c) Costo	64
d) Calidad	65
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>68</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>70</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA / REFERENCIAS</b>	<b>73</b>

## **ANEXOS**

Anexo N° 01: Modelo de encuesta

Anexo N° 02: Cuadro de los valores atípicos (Zn)

Anexo N° 03: Gráficas de puntuaciones de los procesos

## RESUMEN

El tema de la presente investigación se basa en analizar cualitativamente los procesos constructivos involucrados en los métodos de estabilización de taludes en excavaciones profundas: Muro Pantalla y Calzaduras, en el distrito de San Isidro, provincia de Lima, con el fin de compararlos y evaluarlos.

Para realizar el análisis y la evaluación de los métodos investigados se empleó el Método Delphi (para conocer la opinión de los expertos en el tema), la Escala de Likert, la Teoría de Conjuntos Difusos (para valorar los conocimientos), encuestas, visitas de campo y búsqueda de información secundaria.

Luego de utilizar las herramientas, las encuestas y recopilar la información pertinente, se llega a la conclusión que el método de Muro Pantalla presenta menor número de criterios con probabilidad de alteración comparado con el método de Calzaduras, debido a que el método de Muro Pantalla presenta un menor porcentaje de procesos críticos por encima de la media y esto significa que existe menor probabilidad de variación de los procesos analizados y por ende la variabilidad es mejor controlada que la del método de Calzaduras.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 3.1: Ejemplo de conjunto difuso	32
Cuadro 3.2: Comparación de los métodos Muro Pantalla y Calzadura bajo el criterio Plazo	62
Cuadro 3.3: Comparación de los métodos Muro Pantalla y Calzadura bajo el criterio Seguridad	63
Cuadro 3.4: Comparación de los métodos Muro Pantalla y Calzadura bajo el criterio Costo	64
Cuadro 3.5: Comparación de los métodos Muro Pantalla y Calzadura bajo el criterio Calidad	65
Cuadro 3.6: Resumen de los resultados de los análisis	66
Cuadro 3.7: Resumen de procesos críticos por encima de la media	67
Cuadro 3.8: Resumen de procesos críticos por debajo de la media	67
Cuadro 5.1: Resumen de variaciones entre métodos de excavaciones profundas	72

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Tipos de muro de contención	6
Figura 1.2: Presiones en un talud	8
Figura 1.3: Diagrama de falla de un talud	8
Figura 1.4: Esquema de un anclaje	9
Figura 1.5: Componentes de un tendón	10
Figura 1.6: Principales tipos de anclaje	11
Figura 1.7: Diagrama de cuerpo libre de Calzadura	13
Figura 1.8: Diagramas de sobrecarga en la Calzadura	16
Figura 2.1: Foto de la etapa de excavación del proyecto de Santo Toribio	17
Figura 2.2: Foto de la etapa de la eliminación de material excedente del proyecto Santo Toribio	18
Figura 2.3: Foto de la etapa de perforación de anclajes del proyecto Santo Toribio	19
Figura 2.4: Foto de la etapa de perfilado manual del proyecto Santo Toribio	19
Figura 2.5: Foto de la etapa de encofrado del proyecto Capital	20
Figura 2.6: Foto de la etapa de encofrado del proyecto Santo Toribio	20
Figura 2.7: Foto de la etapa previa al vaciado de concreto del proyecto Capital	21
Figura 2.8: Foto de la etapa del vaciado de concreto del proyecto Santo Toribio	22
Figura 2.9: Foto de la etapa del tensado del anclaje del proyecto Santo Toribio	22
Figura 2.10: Foto de los Muros Pantalla del proyecto Capital	23
Figura 2.11: Foto de la excavación debajo de la cimentación vecina	24
Figura 2.12: Foto de encofrado y vaciado de concreto en Calzaduras	24
Figura 2.13: Esquema de diseño de las Calzaduras	26
Figura 3.2: Mapa de procesos de Muro Pantalla	39
Figura 3.3: Mapa de Procesos de Calzaduras	42



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfica 3.1: Función de pertenencia del conjunto difuso joven	30
Gráfica 3.2: Función de pertenencia del conjunto difuso joven si U es continuo	33
Gráfica 3.3: Función de pertenencia con tres conjuntos difusos	34
Gráfica 3.4: Funciones de pertenencia comunes	35
Gráfica 3.5: Análisis del método de Muro Pantalla según Plazo	54
Gráfica 3.6: Análisis del método de Muro Pantalla según Seguridad	55
Gráfica 3.7: Análisis del método de Muro Pantalla según Costo	56
Gráfica 3.8: Análisis del método de Muro Pantalla según Calidad	57
Gráfica 3.9: Análisis del método de Calzaduras según Plazo	58
Gráfica 3.10: Análisis del método de Calzaduras según Seguridad	59
Gráfica 3.11: Análisis del método de Calzaduras según Costo	60
Gráfica 3.12: Análisis del método de Calzaduras según Calidad	61
Gráfica 3.13: Comparación de ambos métodos según Plazo	62
Gráfica 3.14: Comparación de ambos métodos según Seguridad	63
Gráfica 3.15: Comparación de ambos métodos según Costo	64
Gráfica 3.16: Comparación de ambos métodos según Calidad	65

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, las construcciones de grandes edificios están obligando a realizar profundas excavaciones ya sea para la cimentación o para el uso de espacios subterráneos tales como los estacionamientos. Estas exigencias están haciendo que los métodos de excavación y sostenimiento de taludes vayan variando incrementando su resistencia, eficiencia y seguridad en cada etapa.

En la presente investigación se describirá los procesos constructivos involucrados en el método de estabilización de taludes llamado Muro Pantalla en excavaciones profundas con el fin de compararlo y evaluarlo frente al método tradicional de las Calzaduras en el Perú, teniendo en cuenta los criterios de plazo, seguridad, costo y calidad, criterios tomados en base a los valores y políticas de una reconocida empresa constructora en nuestro país.

Este trabajo está dividido en tres capítulos: el primer capítulo corresponde al marco teórico, en donde se encuentran la definición y generalidades de las excavaciones profundas para luego dar paso a la definición y características de los métodos de Muro Pantalla y Calzaduras. En el segundo capítulo se encuentra la descripción de los procesos del sistema constructivo de ambos métodos. Y en el tercer capítulo se evalúa y compara ambos métodos para luego realizar el respectivo análisis y finalizar con las conclusiones y recomendaciones.

Mediante el uso de las encuestas (con el uso del método Delphi para sondear la opinión de expertos, y el uso de la escala de Likert, para apoyar la elaboración de los cuestionarios), la experiencia del personal calificado y con la recopilación de información, se buscará comparar ambos métodos y también se estimará en qué grado inciden los procesos en cada uno de los métodos en lo referente al plazo de ejecución, seguridad, costo y calidad.

Actualmente, el Perú vive un “boom” de la industria de la construcción. Según José Luis Chicoma, Viceministro de Mype e Industria, durante los primeros cinco meses del 2010 este sector creció a una tasa promedio de 18.5%, por encima del mismo periodo del 2009 que logró en promedio 3%.

Según el Informe Especial de la revista Constructivo (junio - julio, 2009), existen muchas obras en ejecución en donde la etapa de excavación es una de las más importantes, y si se ejecuta una mayor labor en este aspecto, amparados de un estudio técnico responsable, se asegurará el desarrollo de la estructura del edificio, generará confianza y brindará la seguridad necesaria al personal que labora en la obra y también a la población que se ve influenciada por las nuevas construcciones en la ciudad.

En el sector de edificaciones, las construcciones que alcanzan los 20 pisos, proyectados con varios niveles de sótano para estacionamiento, requieren la ejecución de excavaciones profundas. Según diversos especialistas y estudios, la mayoría de los distritos de Lima cuentan con suelos constituidos por gravas con matriz de arenas, que tienen muy buena capacidad portante y en los que se puede realizar excavaciones profundas de manera conveniente, lo que permite el uso del sistema de calzaduras. Se menciona igualmente, que en los últimos años, la confianza hacia las nuevas construcciones ha disminuido debido a los accidentes ocurridos en algunas obras (derrumbe de obras: La Victoria - 12 dic 2007, Miraflores – 30 abr 2008, Santiago de Surco – 26 ago 2009, Santa Beatriz – 09 set 2010), el utilizar calzaduras en la construcción de muros de sótanos ha ocasionado problemas con terceros ya que se invade debajo de la cimentación de la propiedad vecina y es por eso que en el Perú, desde el inicio de los años 90, se utiliza muros de concreto armado que, soportan los empujes del suelo mediante tensores y/o anclajes postensados y que son llamados “muros excavados con anclajes o muros pantalla”.

En el Reglamento Nacional de Edificaciones se prescribe la elaboración de estudios de mecánica de suelos y los anclajes respectivos para asegurar la estabilidad de las edificaciones. Este reglamento regula y establece los parámetros y características de construcción en el Perú y es base fundamental al

momento de realizar los proyectos, para así asegurar la calidad de las edificaciones.

La Norma E.050 del RNE, es tomado como base de estudios e investigación de esta tesis.

El ingeniero Oscar Maggiolo [8] hace referencia a esta Norma e indica que las autoridades municipales tienen responsabilidad al momento de aprobar un proyecto que requiera ejecutar excavaciones profundas.

El especialista Jorge Coll [9], describe el método de construcción mediante el uso de los Muros Pantalla. Adicionalmente, realiza un análisis comparativo del empleo de las denominadas Calzaduras y los Muro Pantalla en donde señala que el sistema con el Muro Pantalla tiene una mayor facilidad y rapidez en la construcción, permite el ahorro en material y evita la invasión del terreno vecino.

Por su parte, el ingeniero Carlos Casabonne [10] (Director de una reconocida empresa proyectista) en su artículo describe el empleo de Calzaduras, el procedimiento para ejecutarlas y las precauciones a considerar, hace referencia también a las pantallas de contención, y tiene como conclusión que cuando se toman precauciones adecuadas la Calzadura se construye sin problemas.

---

[ ] Cfr. en Bibliografía

## CAPÍTULO I:

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Generalidades

Las excavaciones vienen a ser las actividades más comunes al inicio de toda construcción de edificaciones. Y actualmente, debido a la escasez de espacio en las zonas urbanas de mayor demanda de construcción de edificios en Lima, los proyectos se han visto obligados a requerir excavaciones cada vez más profundas llegando en algunos casos hasta los 23 metros de profundidad (ejemplo: Edificio Capital ubicado en San Isidro con 23.20 metros de profundidad). Mientras las excavaciones son más profundas, los espacios de trabajos se reducen más, lo cual involucra una mayor complejidad de la actividad.

Para estos tipos de trabajos de excavación se debe tener en cuenta los parámetros, los cuales definirán de qué manera se excavará, qué maquinaria se utilizará, qué precauciones se ha de tener, entre otros. Los factores más importantes a considerar son: densidad, cohesión, granulometría, ubicación de la napa freática (si la hubiere) y el ángulo de rozamiento.<sup>1</sup>

Otros condicionantes que también se deben tomar en cuenta son las edificaciones próximas o colindantes al área a excavar con el fin de poder analizar estructuralmente la capacidad del suelo, saber que tipo de cimentación poseen, y detectar en el subsuelo que estructuras u obstáculos se pueden encontrar las cuales puedan afectar la excavación (túneles, infraestructura enterrada, red de tuberías, etc.).

#### 1.2 Definición y descripción de los tipos de muro de contención

---

<sup>1</sup> Elementos de Excavación – CONSTRUMATICA

"Análisis cualitativo de los métodos de estabilización de excavaciones profundas: Muro Pantalla y Calzadura, en el distrito de San Isidro."  
Bach. Mendoza Lau, Enrique

### 1.2.1 Generalidades

Los muros de contención tienen como función principal soportar las fuerzas laterales que ejercen los taludes verticales o casi verticales de suelo. Estos muros pueden ser permanentes y temporales, varía según su uso.

En las construcciones de edificios con sótanos en áreas urbanas, las excavaciones del terreno obligan a formar taludes con caras verticales o casi verticales, es por esto que los taludes deben ir apoyados en sistemas de muros de contención temporales para evitar fallas que puedan ir acompañadas de asentamientos o fallas por capacidad de carga de cimentaciones cercanas.

### 1.2.2 Tipos de muros de contención<sup>2</sup>

Los muros de contención más comunes, como se aprecia en la Figura 1.1, se pueden agrupar en 5 tipos:

- Muros de contención de gravedad
- Muros de contención de semigravedad
- Muros de contención en voladizo
- Muros de contención con contrafuertes
- Muros de contención anclados

Los muros de contención de gravedad son muros construidos con concreto simple o mampostería de piedra. Utiliza su propio peso como estabilizador, no estando diseñado para que trabaje a tracción. Este tipo de muro se ejecuta en obras de poca altura, no siendo conveniente como solución técnico-económica para elementos altos.

Los muros de contención de semigravedad son muros de gravedad reforzados con una pequeña cantidad de acero. Son usados generalmente para reducir el espesor de los muros de gravedad.

---

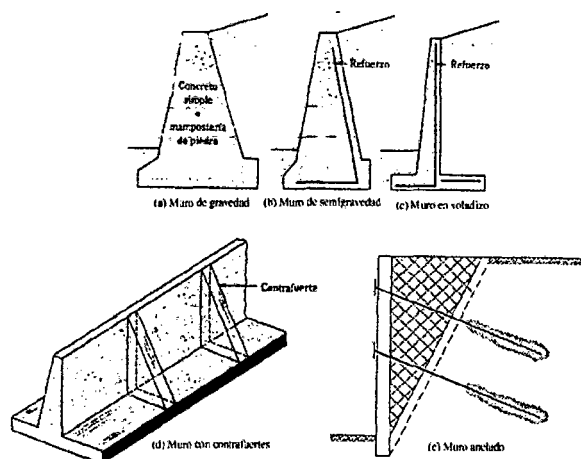
<sup>2</sup> BRAJA, Das. *Principios de Ingeniería de Cimentaciones*, México: International Thomson Editores, 1999.

"Análisis cualitativo de los métodos de estabilización de excavaciones profundas: Muro Pantalla y Calzadura, en el distrito de San Isidro."  
Bach. Mendoza Lau, Enrique

Los muros de contención en voladizo se construyen de concreto reforzado y consisten en una pantalla delgada y una losa de base; son económicos hasta una altura aproximadamente de 8m.

Los muros de contención anclados son muros de concreto los cuales están anclados al suelo mediante cables de acero postensados. Son muy útiles para excavaciones profundas.

Figura 1.1: Tipos de muro de contención



Fuente: Principios de ingeniería de cimentaciones – Braja M. Das

### 1.3 Definición y características del Muro Pantalla y sus componentes

#### 1.3.1 Generalidades

Los muros pantalla son elementos estructurales subterráneos de uso tanto como sistema de contención y retención temporal o permanente en terrenos inestables. La técnica de ejecución de los muros pantalla se inicia a mediados del siglo XX, desarrollada inicialmente en Europa y desde entonces ha sido usada para varios fines en Norte América y últimamente en Sudamérica.

En la actualidad, este método está siendo utilizado eficientemente en la ciudad de Lima, exclusivamente como muros de concreto que sirven de contención en excavaciones profundas destinadas a estacionamientos vehiculares subterráneos y constituyen la parte inferior de los muros de la misma

edificación. También son usados para la construcción de sótanos de edificios al igual que pozos y túneles.

El método consiste en construir los muros mientras se avanza la excavación, es decir, de arriba hacia abajo, y lograr el sostenimiento mediante la perforación y tensado de un cable que los atraviesa y sujeta con el suelo adyacente a manera de anclaje.

### 1.3.2 Sistema de anclajes<sup>3</sup>

Un anclaje es un elemento estructural que unido al suelo o roca, se utiliza para transmitir al terreno una carga de tracción aplicada bajo determinadas condiciones. Las presiones que los suelos ejercen detrás de un talud, pueden ser absorbidas colocando delante estructuras de retención, con los elementos de sujeción adecuados al tipo de suelo circundante.

Para excavaciones profundas o en taludes naturales, las retenciones flexibles logran estabilizar el suelo usando generalmente anclajes en suelo. Y cuando un talud de roca se encuentra dentro de la posibilidad cercana de un derrumbe, se usa anclajes en roca.

Los anclajes que atraviesan superficies potenciales de rotura en los taludes, generan sobre dichas superficies un incremento de la presión normal, lo cual aumenta la seguridad contra el volteo, el desplazamiento y el empuje vertical a lo largo de la superficie de falla, como se ilustra en la Figura 1.2.

Para la presente investigación, se tendrá en cuenta el tipo de los anclajes en suelo, los cuales pueden ser permanentes o temporales. Los permanentes son aquellos que usualmente se considera que tienen una vida útil de 75 a 100 años. La vida útil de los temporales esta en función al tiempo requerido para contener el suelo mientras se instalan las estructuras permanentes de retención.

### Figura 1.2: Presiones en un talud

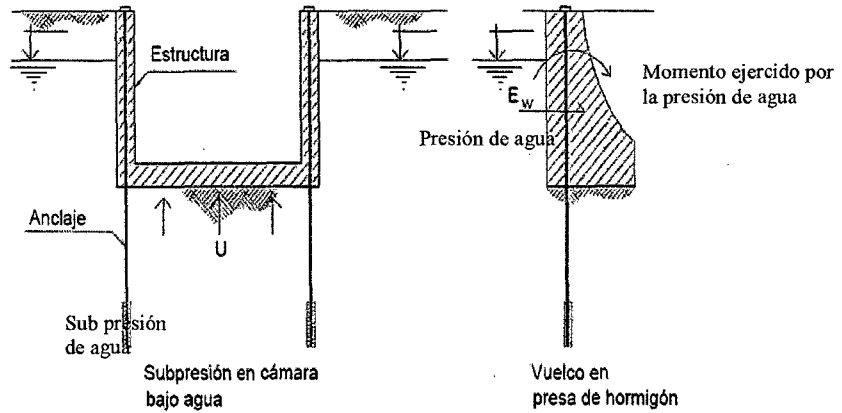
---

<sup>3</sup> PEREZ, María. *Anclajes y Sistemas de Anclajes*, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Bs. As. , 2004.

---

"Análisis cualitativo de los métodos de estabilización de excavaciones profundas: Muro Pantalla y Calzadura, en el distrito de San Isidro."  
Bach. Mendoza Lau, Enrique

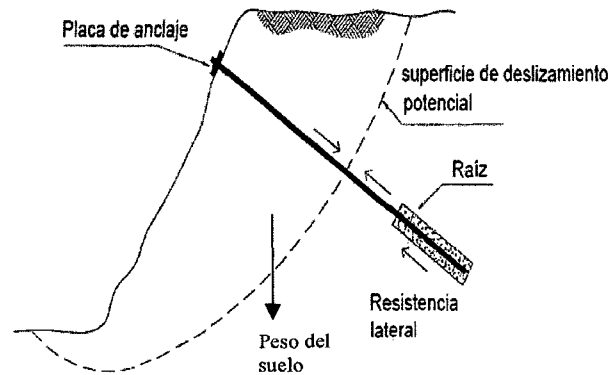




Fuente: Anclajes y Sistemas de Anclajes – Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Bs. As.

El sistema de anclajes consiste en transferir las fuerzas de tracción que se generan en las inserciones, hacia el suelo a través de la resistencia movilizada en la interfase entre el anclaje y el material que lo rodea (raíz) tal como se aprecia en la Figura 1.3.

Figura 1.3: Diagrama de falla de un talud

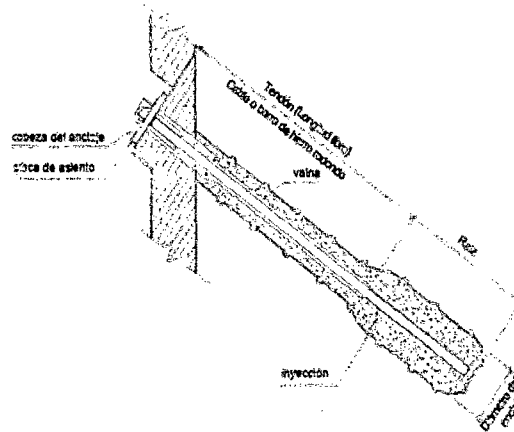


Fuente: Anclajes y Sistemas de Anclajes – Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Bs. As.

Los anclajes, como se aprecia en la Figura 1.4, se componen generalmente de:

- La cabeza del anclaje.
- Tendón o Longitud libre.
- Raíz o Longitud de adherencia.

Figura 1.4: Esquema de un anclaje



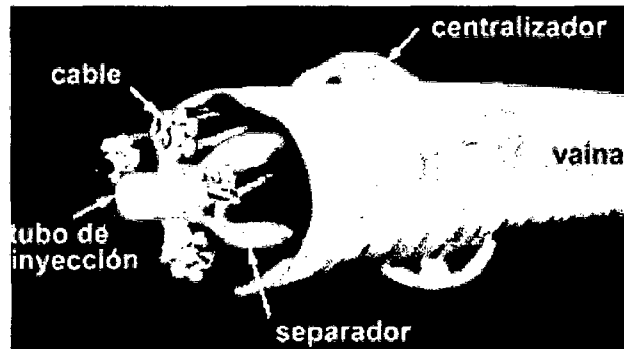
Fuente: Anclajes y Sistemas de Anclajes – Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Bs. As.

- La cabeza de anclaje: es la parte del anclaje que se encuentra en el exterior y está compuesto por una placa de apoyo y una tuerca las cuales sirven para poder transmitir la fuerza desde el cable a la superficie de la estructura de soporte.
- El tendón o Longitud libre: la longitud libre es la parte que conecta la raíz con la cabeza, este tendón puede elongarse y transmitir la fuerza de resistencia de la raíz a la estructura de soporte. Alrededor del tendón, se forra una vaina de plástico liso con el fin de impedir la adherencia del acero con el cemento al momento de la inyección. El tendón puede estar formado por cables o barras de acero.
- La raíz o Longitud de adherencia: es la parte extrema que está enterrada en el suelo y con la inyección controlada, se forma el bulbo. La raíz debe siempre ubicarse **detrás de la superficie crítica de falla**.

Sin embargo, existen otros elementos que dependiendo del anclaje, no necesariamente están incluidos en la presente investigación, se analizarán los anclajes de suelos en los cuales se incluyen la vaina, separadores y centralizadores. (Ver Figura 1.5). La **vaina** es un tubo liso o corrugado que protege el acero de la corrosión en la longitud libre. Los **separadores** se usan para espaciar los cables, componentes del tendón, para que cada uno pueda vincularse correctamente a la lechada. Y los **centralizadores** posicionan el acero en la perforación de manera tal que se logre el mínimo recubrimiento

especificado del mismo con la inyección. La **inyección** es una mezcla de cemento Pórtland que provee la transferencia de carga desde el tendón al suelo y le brinda, a este último, protección contra la corrosión.

**Figura 1.5: Componentes de un tendón**



*Fuente: Anclajes y Sistemas de Anclajes – Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Bs. As.*

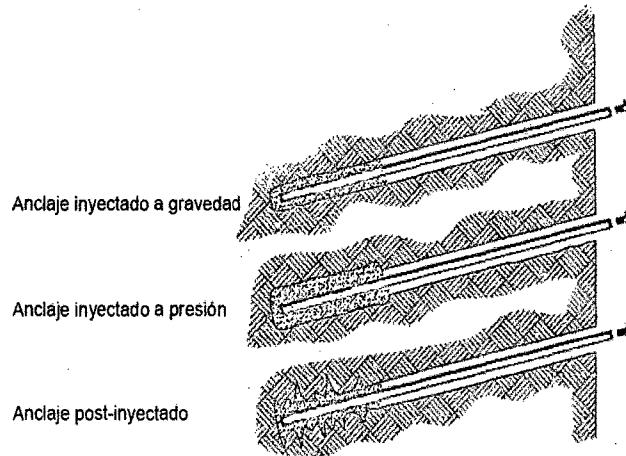
Para anclajes en roca, las barras están disponibles usualmente en diámetros de 20, 25 o 32 mm. Mientras que los cables para anclajes de suelo dependen del diseño de carga a soportar. Para este análisis los cables son de 15.5 mm de diámetro.

Las principales ventajas de usar los cables es que no tienen limitaciones prácticas de carga ni de longitud. Y por el lado de las barras, estas son más fáciles de tensar.

Existen tres tipos principales de anclajes: (Ver Figura 1.6)

1. Anclajes inyectados a gravedad.
2. Anclajes inyectados a presión.
3. Anclajes post-inyectados.

**Figura 1.6: Principales tipos de anclajes**



Fuente: Anclajes y Sistemas de Anclajes – Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Bs. As.

**Anclajes inyectados a gravedad:** para ejecutar este tipo de anclajes, se realiza la perforación y luego se inyecta la mezcla de cemento sin formarse un bulbo en la raíz. Son ejecutados usualmente en roca y en depósitos de suelos cohesivos de características muy compactos a duros.

**Anclajes inyectados a presión:** este tipo de anclaje son los más apropiados para los suelos granulares gruesos, para roca débil fisurada y para suelos de granos finos sin cohesión. La presión de inyección es mayor a  $3.5 \text{ kg/cm}^2$ .

La perforación comúnmente se ejecuta usando técnicas rotatorias con cañerías de encamisado y cuando el encamisado se retira, la lechada se inyecta a presión dentro del agujero. Este procedimiento de inyección aumenta la resistencia al arrancamiento porque:

- Aumenta la tensión normal (presión de confinamiento) en el bulbo de inyección, como resultado de la penetración de la lechada en el material que lo rodea.
- Incrementa el diámetro efectivo del bulbo de la lechada.

**Anclajes post-inyectados:** los anclajes usan inyecciones múltiples retardadas para agrandar el cuerpo de la lechada del tipo de anclajes inyectados a gravedad. El post-inyectado se realiza a través de un tubo de inyección sellado instalado con el tendón. El tubo está equipado con válvulas de control en la zona de adherencia. Las válvulas de control permiten una inyección adicional bajo gran presión dentro de la lechada inicial que ya ha sido realizada. Esta lechada adicional fractura la inicial y la coloca más afuera, dentro del suelo, agrandando

el cuerpo de la inyección. De esta manera el bulbo tiene la forma de un cilindro con fracturas, cuyo diámetro es por lo menos dos veces el de la perforación. Además, las altas presiones de inyección, aseguran una buena adherencia entre el bulbo y el suelo circundante.

## 1.4 Definición y características de las Calzaduras

### 1.4.1 Generalidades

Las Calzaduras son estructuras de concreto que sirven para sostener las cimentaciones de los predios vecinos y el suelo de la pared expuesta al momento de una excavación. Estos elementos soportan las cargas verticales directamente y las transmite a un estrato inferior del suelo. <sup>4</sup>El término se ha generalizado para otro tipo de funciones y se emplea indistintamente para aquellas obras que se realizan con alguno de los propósitos siguientes:

- Para consolidar la cimentación de una estructura existente. Tal es el caso de una estructura que ha sufrido asentamientos. Este caso es frecuente en edificaciones de valor arquitectónico o histórico que por estar cimentadas sobre terrenos que se consolidaron con el tiempo han sufrido asentamientos que comprometen su estabilidad y se requiere nivelar la estructura y detener los asentamientos.
- Para darle mayor capacidad portante a la cimentación y podría requerirse buscar un estrato de suelo más resistente a mayor profundidad o reforzar la misma cimentación ampliándola.
- Para protección de la propiedad vecina – edificaciones o taludes – cuando se va a realizar excavaciones cercanas. En este contexto, las obras de calzadura tienen carácter temporal ya que su función de contención será asumida definitivamente por la nueva construcción.

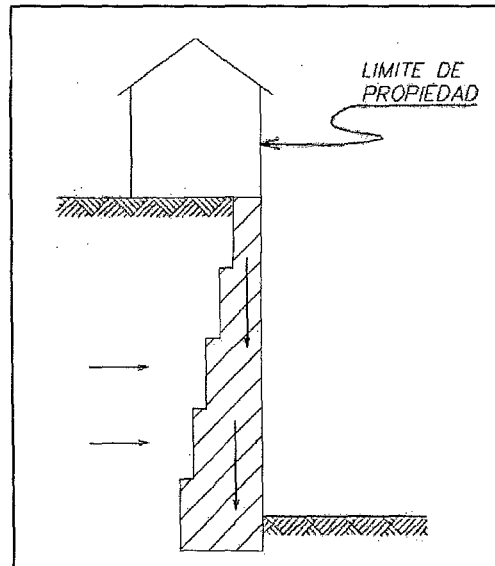
En la presente investigación se referirá a la calzadura hecha con este último propósito.

---

<sup>4</sup> Revista El Ingeniero Civil “Calzaduras en el suelo de Lima” por Carlos Casabonne R.

Las Calzaduras a diferencia de otras obras de sostenimiento, como los pilotes continuos, tablestacados, o muros diafragma, se construyen alternada y progresivamente con la excavación.

**Figura 1.7: Diagrama de cuerpo libre de Calzadura**



Fuente: Elaboración propia.

#### 1.4.2 Tipos de Calzadura

<sup>5</sup>La Calzadura puede ser correctiva o preventiva. La Calzadura correctiva aumenta la capacidad de la cimentación de una estructura inadecuadamente apoyada. La Calzadura preventiva se usa para obtener la adecuada capacidad de la cimentación para soportar cargas mayores o para contrarrestar cambios en las condiciones de terreno. Por regla general, este tipo de Calzadura se requiere para las cimentaciones de una estructura, cuando se van a construir cimentaciones más profundas cercanas para una adición u otra estructura. La pérdida de suelo, aunque sea muy pequeña, en una excavación adyacente puede causar asentamiento excesivo de las cimentaciones existentes.

#### 1.4.3 Precauciones en las Calzaduras profundas

<sup>5</sup> RIVERA Porlles, Fabián Alejandro. *Tesis: Calzaduras.*

"Análisis cualitativo de los métodos de estabilización de excavaciones profundas: Muro Pantalla y Calzadura, en el distrito de San Isidro."  
Bach. Mendoza Lau, Enrique

<sup>6</sup>La ejecución de la Calzadura es una operación usualmente difícil y peligrosa por el estado tensional en condiciones estáticas y bajo sismo al que pueden ser sometidas y al hecho que dicho estado puede modificarse drásticamente, especialmente por la presencia de agua y por la vibración. Es un trabajo que debe ser realizado por especialistas.

Para llevar a cabo exitosamente una Calzadura debe tomarse las precauciones siguientes, especialmente cuando las excavaciones tienen más de 6 a 8 metros de profundidad:

- **Diseño de la calzadura:** se recomienda analizar las condiciones esperadas del suelo en la luz, las características y ubicación de las edificaciones vecinas, etc. y se prepare un plano de Calzadura y recomendaciones constructivas.
- **Conocimiento del suelo:** es indispensable que se tenga conocimiento de las características del suelo tanto como para el diseño como para la ejecución, y estar atento a cualquier variación de éstas. Los parámetros a conocer son: ángulo de fricción externa, cohesión, peso unitario y la existencia de la napa freática.
- **Planificación:** planificar el proceso de excavación – calzadura – apuntalamiento y de construcción de las obras, de manera que sea un proceso secuencial lo más rápido posible.
- **Apuntalamiento:** debe apuntalarse la Calzadura en los frentes bajo o cercano a edificaciones existentes. Considerar que la capacidad de la Calzadura como muro de contención es limitada.
- **Monitoreo:** se debe monitorear permanentemente el proceso a fin de detectar: desplazamientos, asentamientos, aparición de grietas de tensión o grietas en las edificaciones vecinas.

---

<sup>6</sup> Revista El Ingeniero Civil “Calzaduras en el suelo de Lima” por Carlos Casabonne R.

- **Agua:** La presencia de agua aumenta los empujes del suelo y puede traer abajo una Calzadura aun apuntalada. Se debe de estar siempre atentos a la presencia del agua en el suelo.
- **Vibraciones:** Las vibraciones pueden destruir la cohesión aparente que tiene el suelo de Lima y que es la que permite taludes casi verticales en el conglomerado.

<sup>7</sup>Un problema importante en la construcción de edificaciones con sótanos es realizar excavaciones verticales en terrenos que tienen linderos colindantes con edificaciones existentes o con la calle. En Lima se han construido edificios de hasta 5 sótanos empleando el sistema de calzaduras para sostener lateral y temporalmente el empuje del suelo.

En terrenos de baja capacidad portante, por lo general, suelos sueltos, no es fácil hacer una excavación y construir calzaduras. La razón fundamental es que la calzadura trabaja como un muro de contención, generalmente en voladizo, y los empujes laterales son mayores en suelos sueltos.

A pesar de tener una calzadura bien diseñada y bien construida, siempre es posible que se produzcan ligeras fisuras en las edificaciones vecinas. En los muros de contención en voladizo, para que trabajen como tal, se presenta una grieta superficial en el terreno ubicado hacia el interior del muro, que es el plano de falla del terreno (cuña de falla que genera el empuje activo).

Si se trata de uno o dos sótanos, el empuje actuante es mínimo o nulo, debido a que la cohesión aparente del suelo gravoso de Lima supera al empuje teórico. Cuando las profundidades son mayores, el tema se complica.

Es usual que los problemas con las edificaciones vecinas sean causados por las deformaciones laterales de la calzadura o por los asentamientos diferenciales. Varios edificios construidos en los últimos treinta años –como el actual local de La Sunat en la Av. Benavides, la obra del Hotel Marriot o el local

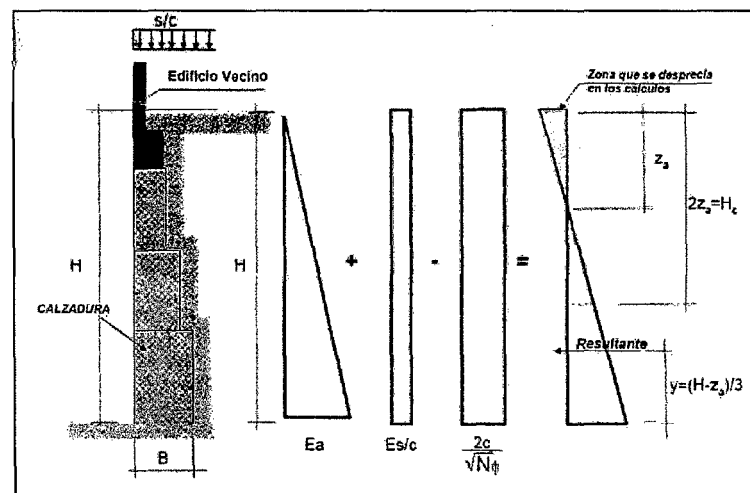
---

<sup>7</sup> BLANCO Blasco Antonio. Sistemas de estabilización del terreno para el caso de excavaciones de la Asociación de Productores de Cementos – ASOCEM.



del Banco de la Nación en la esquina de Av. Arequipa con Javier Prado– tienen 5 sótanos y han sido hechos con calzaduras cuyos espesores en la base son del orden de 3.6 a 4 metros, con los que se ha conseguido un buen comportamiento.

**Figura 1.8: Diagramas de sobrecarga en la Calzadura**



Fuente: Diseño y construcción de Calzaduras –Ing. Jorge Alva Hurtado.

#### 1.4.4 Responsabilidad por la Calzadura

<sup>8</sup>La calzadura es un procedimiento de construcción que ha sido ejecutado innumerables veces por los constructores sin cuestionarse de si deben ellos asumir la responsabilidad por su diseño o no. Claro está que para Calzaduras menores es decir cuya altura es moderada, el seguir las recomendaciones tradicionales era seguro. Para calzaduras de mayor altura, al aumentar los riesgos y el costo, nace el cuestionamiento sobre quien tiene la responsabilidad sobre la Calzadura. El Contratista podrá, a su juicio asesorarse o encargar su diseño a profesionales fuera de su organización, será su decisión, pero la responsabilidad sigue siendo suya.

<sup>8</sup> Revista El Ingeniero Civil “Calzaduras en el suelo de Lima” por Carlos Casabonne R.

“Análisis cualitativo de los métodos de estabilización de excavaciones profundas: Muro Pantalla y Calzadura, en el distrito de San Isidro.”  
 Bach. Mendoza Lau, Enrique

## CAPITULO II:

### DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS

#### 2.1 Procesos del sistema constructivo del Muro Pantalla

El sistema constructivo del Muro Pantalla tiene la secuencia de avance de arriba hacia abajo mientras el proceso de excavación avanza. Cada vez que se va profundizando el nivel de excavación, los muros deben de ir anclándose y postensándose, de manera que los muros sirvan de sostenimiento al talud.<sup>9</sup>

El proceso se inicia con el trazo topográfico de los límites de las futuras paredes subterráneas en la superficie y a 0.60 m. aproximadamente de la misma, teniendo en cuenta el tipo de suelo conglomerado existente, de tal manera que se pueda realizar una excavación controlada en los límites y evitar la sobre excavación.

#### Figura 2.1: Foto de la etapa de excavación del proyecto Santo Toribio



*Se observa el muro de la propiedad vecina y la banqueta de 0.60 m dejada para realizar la excavación masiva.*

Luego se procede a excavar masivamente el terreno, dependiendo del área, puede ser más eficiente el uso de una excavadora o de un cargador frontal. La excavación se realiza de tal manera que se debe cortar, verticalmente, a los

---

<sup>9</sup> PILOTES TERRATES. *Proyecto de entibación mediante anclajes post tensados temporales de la obra: Edificio Santo Toribio.*

0.60 m. aproximadamente trazados, sin sobrepasar el plomo de la línea trazada ya que esta masa de suelo sin excavar servirá de apoyo a todo el talud y a la construcción o propiedad vecina. (Ver Figura 2.1).

Mientras se excava, se va dejando en el terreno un acceso para los volquetes los cuales retiran todo el material excedente extraído en la excavación. (Ver Figura 2.2).

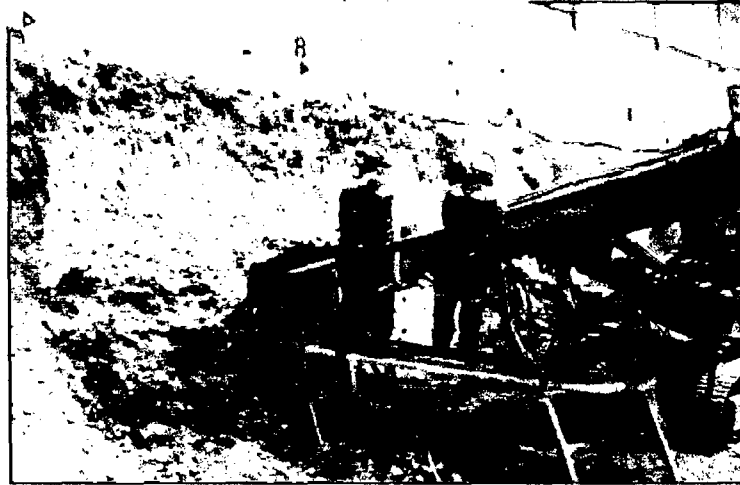
**Figura 2.2: Foto de la etapa de la eliminación de material excedente del proyecto Santo Toribio**



*Maquinarias realizando la excavación masiva.*

Se continúa con los trabajos de excavación pero sin maquinaria para poder eliminar el material con el personal de obra, especialmente en la zona de los muros laterales, en donde se han dejado las banquetas de 0.60 m, a manera de soporte del talud libre, listo para la perforación y la colocación de anclajes de los Muros Pantalla. Una vez ubicados los puntos donde irán los anclajes, se procede a perforar de acuerdo a diseño, teniendo en cuenta el ángulo y la longitud de perforación, previamente definidos en el diseño de sostenimiento de los muros anclados. (Ver Figura 2.3).

**Figura 2.3: Foto de la etapa de perforación de anclajes del proyecto Santo Toribio**



*Perforación de los puntos donde se colocarán los anclajes*

Una vez que la perforación llega a la longitud de diseño, se colocan los tendones del anclaje y se procede a la inyección de la mezcla de agua-cemento a través de la vaina del tendón. Cuando se termina de inyectar toda la lechada de cemento, se procede a perfilar el talud de tal manera que se consiga la verticalidad del futuro muro de concreto con el fin de evitar sobreconsumo de material. Cabe recalcar que las banquetas se van perfilando de manera intercalada, en forma de damero, para así mantener siempre un soporte del talud mientras se trabaja el paño perfilado. (Ver Figura 2.4).

**Figura 2.4: Foto de la etapa de perfilado manual del proyecto Santo Toribio**

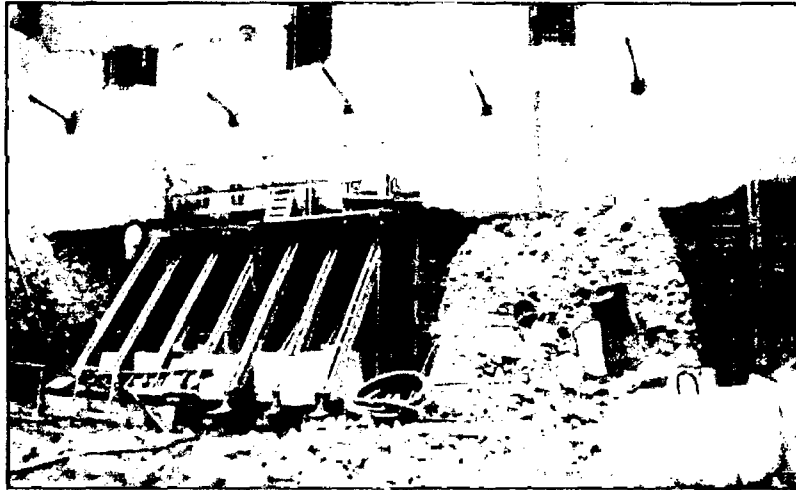


*Perfilado vertical de los paños donde se construirán los Muros Pantalla. Se observa el tendón inclinado que formará parte del anclaje.*

Ya con el talud en vertical, se procede a colocar la armadura de acero según el diseño estructural del muro, teniendo siempre en cuenta que los

empalmes horizontales y verticales deben de ser respetados y colocados de tal manera que horizontalmente no obligue a disminuir el ancho de las banquetas colindantes y verticalmente no disminuya la resistencia de apoyo del talud inferior. Para tal forma, dependiendo del tipo de acero, debe de doblarse respetando los radios permisibles según las normas vigentes de construcción. En el caso que hubiese alguna tubería y/o pase, se coloca en esta etapa.

**Figura 2.5: Foto de la etapa de encofrado del proyecto Capital.**



*Encofrado del Muro Pantalla*

**Figura 2.6: Foto de la etapa de encofrado del proyecto Santo Toribio.**

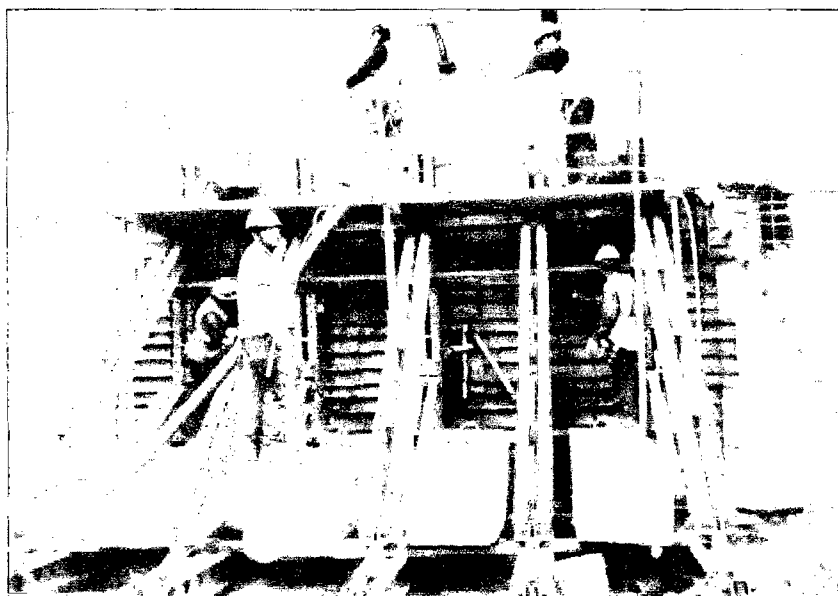


*Colocación de los bloques de concreto*

Luego, para encofrar, se tienen que colocar unos bloques de concreto debajo del nivel del encofrado, los cuales servirán de apoyo para contrarrestar

las fuerzas verticales y horizontales que el concreto ejercerá contra las placas del encofrado y el suelo respectivamente. (Ver Figuras 2.5 y 2.6).

**Figura 2.7:** Foto de la etapa previa al vaciado de concreto del proyecto Capital.



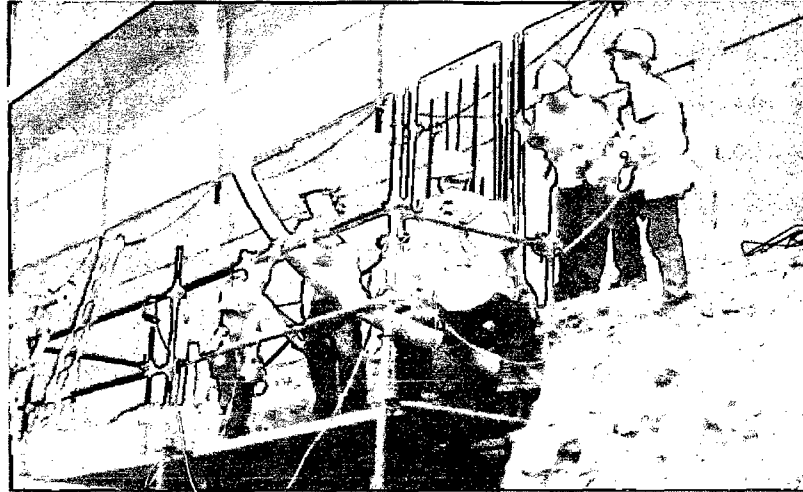
*Fuente: Imagen tomada del proyecto Capital*

Una vez colocado el encofrado, se procede a vaciar el tipo de concreto según las especificaciones que el proyecto exige. (Ver Figura 2.7).

Dependiendo del espesor de la placa de concreto y de la altura, a veces será recomendable vaciar el concreto de una manera más lenta que la convencional para evitar dejar aire y que esto forme las llamadas "cangrejas".

Siempre habrá que llevar un control de la verticalidad de la placa, ya que cuando el encofrado no está bien colocado y asegurado, las planchas del encofrado pueden ceder y desplomar la placa. (Ver Figura 2.8).

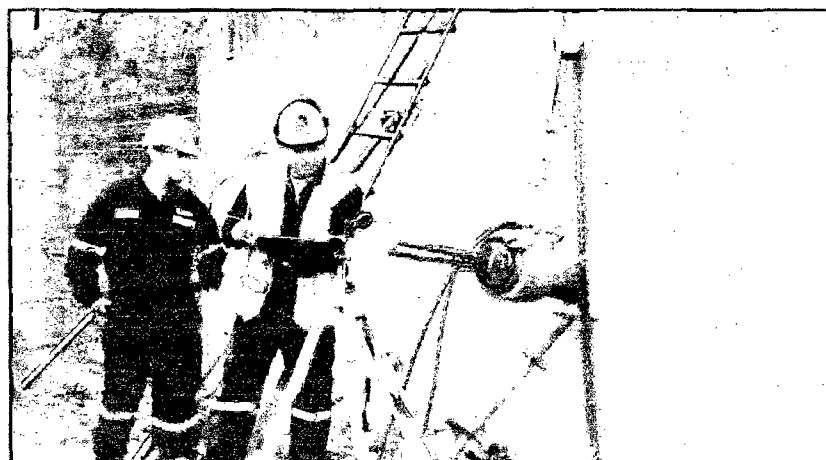
**Figura 2.8:** Foto de la etapa del vaciado de concreto del proyecto Santo Toribio.



*Fuente: Imagen tomada del proyecto Santo Toribio*

Cuando el concreto haya fraguado, se retira el encofrado y se hidrata la placa de concreto con un sistema de curado de acuerdo al clima, temperatura y radiación solar existentes. Luego, se debe esperar el tiempo necesario para que el concreto alcance la resistencia al punzonamiento necesaria para poder tensar el tendón. Una vez alcanzada la resistencia, se procede a colocar la plancha y el cabezal para tensar el tendón. (Ver Figura 2.9).

**Figura 2.9: Foto de la etapa del tensado del anclaje del proyecto Santo Toribio.**



*Fuente: Imagen tomada del proyecto Santo Toribio*

Se repite el mismo procedimiento para los paños laterales intermedios que se ejecutan en forma alternada. Para los niveles inferiores, se repite el mismo procedimiento, con la diferencia de que un requisito para poder perfilar

una banqueta, es que el paño inmediato del nivel superior esté tensado. Una vez ya armado toda la estructura subterránea y sus respectivas losas, se procede a retirar las planchas y cabezales de los anclajes. (Ver Figura 2.10).

**Figura 2.10: Foto de los Muros Pantalla del proyecto Capital.**



*Fuente: Imagen tomada del proyecto Edificio El Capital*

## **2.2 Procesos del sistema constructivo de las Calzaduras<sup>10</sup>**

Según el profesional Fabián Rivera Porlles, el sistema constructivo de las Calzaduras tiene la secuencia de avance similar que el de Muros Pantalla, de arriba hacia abajo mientras la excavación avanza, pero con la diferencia que las Calzaduras son cimentaciones de concreto simple que se construyen alternadamente debajo de una cimentación existente para transmitir las cargas a un nivel inferior.

Uno de los primeros pasos es excavar debajo de la cimentación vecina que se desea calzar (ver Figura 2.11). Esto disminuye la capacidad de carga del suelo, por tanto, puede ser necesario proveer apoyo preliminar hasta que se termine la Calzadura. Los apoyos, instalados verticalmente o con una ligera inclinación, se emplean en muchas ocasiones para apoyar los muros, mientras se excavan los espacios para la Calzadura.

**Figura 2.11: Foto de la excavación debajo de la cimentación vecina**

---

<sup>10</sup> RIVERA Porlles, Fabián Alejandro. *Tesis: Calzaduras.*

"Análisis cualitativo de los métodos de estabilización de excavaciones profundas: Muro Pantalla y Calzadura, en el distrito de San Isidro."  
Bach. Mendoza Lau, Enrique





*Fuente: Construaprende*

Las Calzaduras, se ejecutan excavando zanjas de forma rectangular de ancho variable q pueden ser de 1.00 m a 1.50 m, una altura variable del orden de 1.50 m a 2.00 m y un espesor inicial igual al espesor del cimiento por calzar y variablemente aumentando dependiendo de la consistencia del terreno a intervalos bajo la cimentación vecina. Estas zanjas se rellenan con concreto hasta la parte inferior de la cimentación (ver Figura 2.12), construyéndolas por paneles alternados hasta constituir una faja continua de apuntalamiento unida a la otra antigua y colocada a la profundidad requerida.

**Figura 2.12: Foto de encofrado y vaciado de concreto en Calzaduras**



*Fuente: Construaprende*

Las longitudes que queden sin apoyo por la formación de los paneles alternados se distribuyen por igual a lo largo de la zona de Calzaduras y se recomienda que en ningún caso la suma de las longitudes sin apoyo exceda a un cuarto de la longitud total por calzar.

Según el ingeniero Oscar Maggiolo, en el artículo "Diseño y Construcción de Calzaduras" de la revista "Ingeniería Civil", indica que en Lima si se realizan las Calzaduras por debajo de los 6 metros de profundidad es decir, entre los 10 y hasta 15 metros, será necesario tener en cuenta que los empujes a los 10 metros prácticamente se triplican y en el caso de los 15 metros se vuelven seis veces mayores que cuando la excavación es de 6 metros. Por eso se recomienda una profundidad de Calzadura conservadora de máximo 6 metros en suelos como es el caso del conglomerado de Lima.

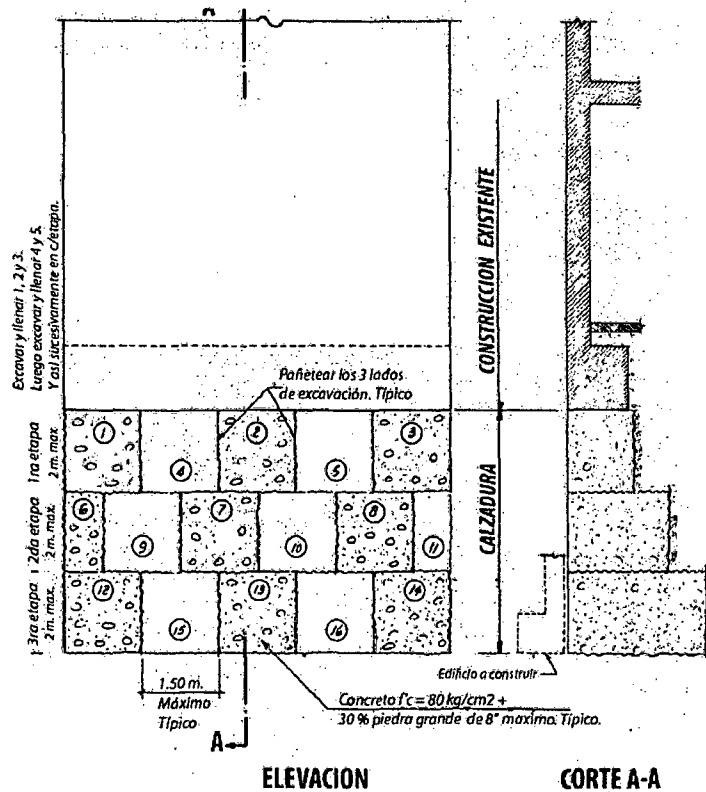
En caso las profundidades de Calzadura superen los 6 metros, se deberá de apuntalar el talud tal como lo indica el ingeniero Raúl Chávez H.

Según el ingeniero Carlos Casabonne R., cuando no hay agua en el subsuelo, los valores máximos de profundidad para el sistema de Calzadura son:

Conglomerado:	6-8 metros
Arcilla:	3 metros
Arena:	2 metros

Las Calzaduras deben realizarse lo más rápido posible, luego de la excavación de los espacios alternados, se debe encofrar y vaciar el concreto, en el mismo orden en el que se hicieron los espacios. Una vez completado el proceso de Calzadura de un nivel superior, recién se da inicio a las Calzaduras de un nivel inferior. Entre la Calzadura superior e inferior debe de existir un desfase de medio paño.

Figura 2.13: Esquema de diseño de las Calzaduras



Fuente: Elaboración propia en base a la tesis de Rivera Porlles, Fabian Alejandro

Mientras mayor sea la profundidad de las Calzaduras, mayor irá aumentando el espesor de las mismas y se introducirá más al terreno vecino. Como indica el ingeniero Raúl Chávez, el incremento del espesor de las Calzaduras será dado por el profesional encargado del diseño de dichos elementos (Ver Figura 2.13).

Cabe recalcar que las Calzaduras, son muros de contención en voladizo y como tales, tienen desplazamientos laterales en la parte superior. Estos desplazamientos o giros son los que activan el empuje y son los que originan fisuras de tracción en el piso de vecino, paralela a la Calzadura. También pueden ocurrir asentamientos verticales, sea por los efectos de retracción del concreto de la Calzadura o por un mal llenado de alguno de los segmentos.

## CAPITULO III:

### EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS

En este capítulo se realizará la evaluación y comparación de los métodos de Muro Pantalla y de Calzaduras, teniendo como base el uso del método Delphi y el uso de encuestas.

#### 3.1 Método Delphi

##### 3.1.1 Introducción

Es una técnica que permite llegar a opiniones de consenso en un grupo, sobre cierto asunto específico. Según el profesional Mauricio López, dentro del artículo Pronóstico Delphi (Universidad de El Salvador, 2005), el método consiste en una serie de preguntas repetidas, por lo general utilizando encuestas o cuestionarios, sobre el tema que se investiga a personas que se considera conocen el tema.<sup>11</sup>

Esta técnica recoge y decanta el conocimiento del grupo de expertos sobre el tema que se ha escogido. Como se mencionó anteriormente, permite la información de consenso en un grupo y es útil como herramienta exploratoria para el pronóstico tecnológico debido a que los investigadores y los participantes pueden obtener una visión más detallada y profunda acerca de los aspectos supuestos (y de las opiniones que existen) sobre un problema específico.

El método consiste en el envío al grupo de expertos de un cuestionario (primera ronda). Las conclusiones del análisis de las repuestas se traducen en un segundo cuestionario, que de nuevo se remite al grupo de expertos.

---

<sup>11</sup> IZQUIERDO, PASCUAL, ROMERO, GOMEZ. *El Método Delphi*.

### 3.1.2 Características<sup>12</sup>

**ANONIMATO:** cada experto desconoce la identidad de los demás integrantes del panel. No debería haber contacto directo entre los participantes, pero el administrador de la encuesta sí puede identificar a cada participante y sus respuestas.

**ITERACIÓN:** Se pueden manejar tantas rondas como sean necesarias. Se extraen de los cuestionarios aquellos segmentos de información que son relevantes y se presentan al panel en la ronda posterior. La interacción de argumentos impersonales a favor o en contra de cada pronóstico contribuye a formar estados de consenso que hacen más transparentes los escenarios emergentes.

**HETEROGENEIDAD:** pueden participar expertos de diferentes ramas de actividad sobre las mismas bases o "reglas de juego".

**RETROALIMENTACIÓN CONTROLADA:** Los resultados totales de la ronda previa no son entregados a los participantes, sólo una parte seleccionada de la información es la que circula.

**RESULTADOS ESTADÍSTICOS:** La respuesta del grupo puede ser presentada estadísticamente (promedios y grado de dispersión).

### 3.1.3 Pasos para aplicar el Método Delphi

Los pasos que se llevarán a cabo para garantizar la calidad y analizar los resultados del Método Delphi son los siguientes:

1. Definición del problema; en algunos casos esto puede ser precisamente el objeto de la utilización del método.

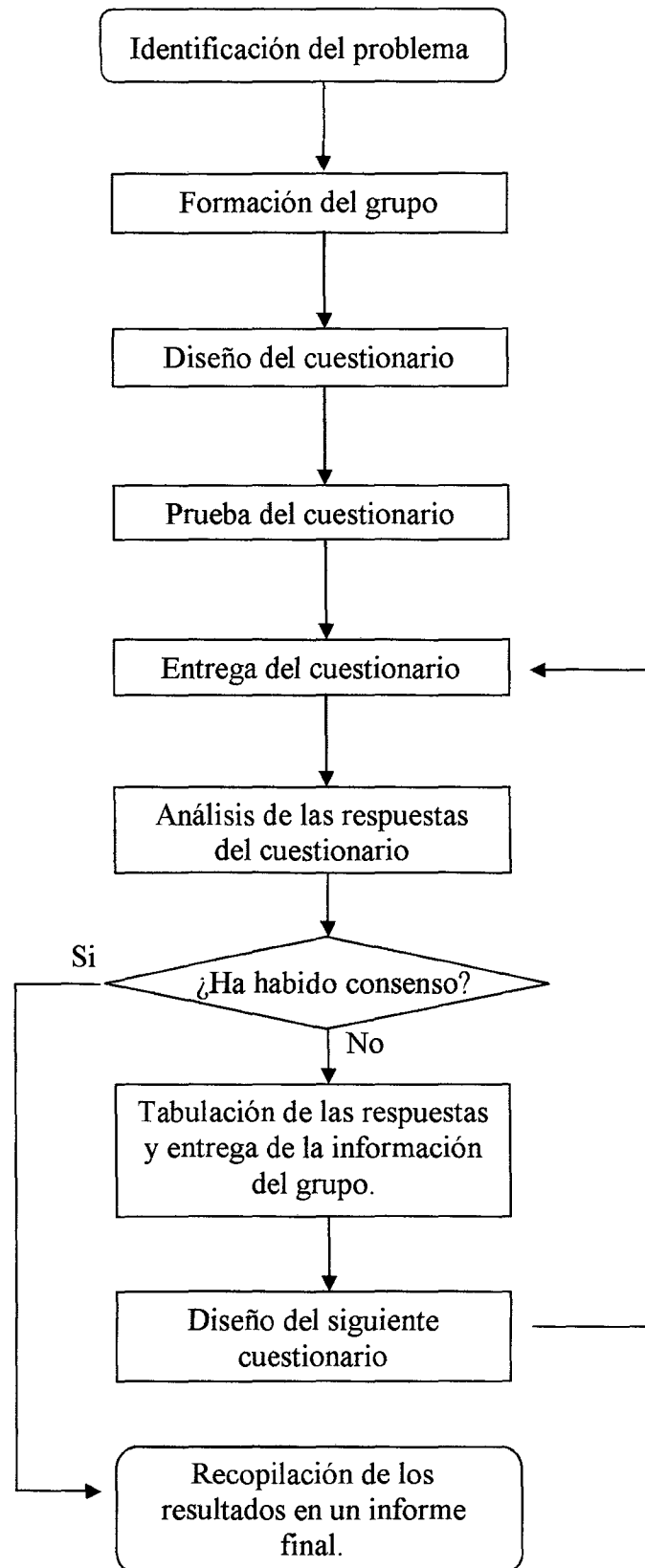
---

<sup>12</sup> López, Mauricio, Rivera, Danilo, Lainez, Osmar. UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. *Pronóstico Delphi*, 2005.

2. Formación de un grupo que aborde un tema específico. Usualmente los miembros del grupo son expertos en el tema que se pretende estudiar. Dentro de ese grupo se pueden conformar uno o varios subgrupos (panel) para que participen en el proceso. Uno de los subgrupos puede dedicarse al análisis de los resultados de cada ronda de preguntas durante el proceso.
3. Diseño del cuestionario que se utilizará en la primera ronda de preguntas, y será elaborado por el equipo técnico.
4. Prueba del primer cuestionario. Muchas veces la estructura o formulación de las preguntas puede que no conduzca a las respuestas apropiadas. Se debe evitar la ambigüedad y la vaguedad en la redacción de las preguntas. Deben ser muy precisas, puntuales y que no sean sujeto de interpretación.
5. Entrega del cuestionario a los panelistas.
6. Análisis de las respuestas de la primera ronda de preguntas.
7. Preparación de la segunda ronda de preguntas aprovechando las respuestas de la primera para perfeccionar las preguntas, para así consolidar y revalidar los resultados obtenidos en la consulta inicial.
8. Entrega del segundo cuestionario a los panelistas.
9. Análisis de las respuestas de la segunda ronda de preguntas: (los pasos 5 a 9 deberán repetirse en forma iterativa hasta cuando se llegue a un consenso o se alcance una cierta estabilidad en las respuestas).
10. Preparación de un informe por parte del equipo que analiza los resultados para presentar las conclusiones del ejercicio.

(Ver diagrama de flujo en la Figura 3.1).

Figura 3.1: Diagrama de flujo para la aplicación del método Delphi



Fuente: Pronóstico Delphi – Universidad de El Salvador

## 3.2 Teoría de los Conjuntos Difusos

### 3.2.1 Introducción

<sup>13</sup>Es una lógica alternativa a la lógica clásica que pretende introducir un grado de vaguedad en las evaluaciones que realiza. En el mundo real existe mucho conocimiento no-perfecto, es decir, conocimiento impreciso, incierto, inexacto, o probabilístico por naturaleza. El razonamiento y pensamiento humano frecuentemente conlleva información de este tipo, probablemente originada de la inexactitud inherente de los conceptos humanos y del razonamiento basado en experiencias similares pero no idénticas a experiencias anteriores.

El problema principal surge de la poca capacidad de expresión de la lógica clásica. Suponiendo, por ejemplo, que se tiene un conjunto de personas a las que se intenta agrupar según su altura, clasificándolas en altas o bajas. Según la Universidad de Málaga, en sus apuntes señala que la solución que presenta la lógica clásica es definir un umbral de pertenencia (por ejemplo, un valor que todo el mundo considera que de ser alcanzado o superado, la persona en cuestión puede llamarse alta). Si dicho umbral es 1.80 m, todas las personas que midan 1.80 m o más serán altas, mientras que las otras serán bajas. Según esta manera de pensar, alguien que mida 1.79 m será tratado igual que otro que mida 1.50 m, ya que ambos han merecido el calificativo de bajas. Sin embargo, si se dispusiera de una herramienta para caracterizar las alturas de forma que las transiciones fueran suaves, se estaría reproduciendo la realidad mucho más fielmente.

Asimismo, no hay un valor cuantitativo que defina el término joven. Para algunos encuestados, 25 años es joven, mientras que para otros, 35 es joven. Incluso el concepto puede ser relativo al contexto. Un presidente de gobierno de 35 años es joven, mientras que un futbolista de dicha edad no lo es. Hay sin embargo cosas que están claras: una persona de 1 año es joven, mientras que una de 100 años no lo es. Pero una persona de 35 años tiene algunas

---

<sup>13</sup> PUBLICACIONES. *Teoría de Conjuntos Difusos y Lógica Difusa*, España. Facultad de Lenguaje y Ciencia de la Comunicación de la Universidad de Málaga.



posibilidades de ser joven (que normalmente dependen del contexto). Para representar este hecho, se definirá el conjunto joven de modo que cada uno de sus elementos pertenezca a él con cierto grado (posibilidad). De un modo más formal, un conjunto difuso A se caracteriza por una función de pertenencia:

$$\mu_A: U \rightarrow [0,1]$$

Siendo:

- $\mu_A$ : Función de pertenencia del conjunto difuso.
- U: Universo de discurso

que asocia a cada elemento x de U un número  $\mu_A(x)$  del intervalo [0,1], que representa el grado de pertenencia de x al conjunto difuso A. Por ejemplo, el término difuso *joven* puede definirse mediante el conjunto difuso que se muestra en el cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1: Ejemplo de conjunto difuso**

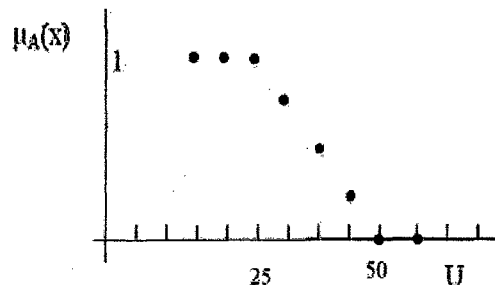
Edad	Grado de Pertenencia
<25	1.0
30	0.8
35	0.6
40	0.4
45	0.2
>50	0.0

Es decir, la función de pertenencia del conjunto difuso *joven* viene dada por:

$$\mu_A(x) = 1 \text{ si } x < 25, \mu_A(30) = 0.8, \dots, \mu_A(x) = 0 \text{ si } x > 50.$$

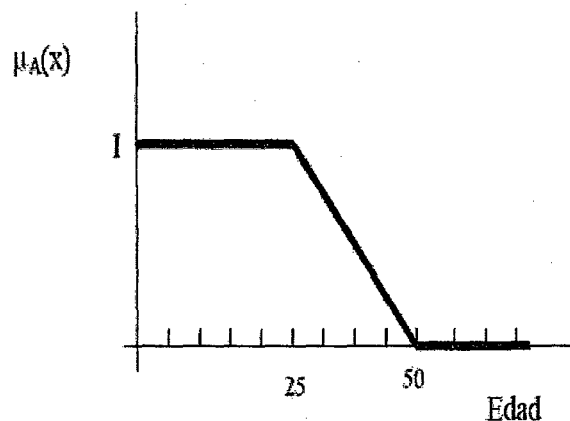
que se muestra en la gráfica 3.1.

**Gráfica 3.1: Función de pertenencia del conjunto difuso joven**



Si el universo de discurso es continuo, se tendrá funciones de pertenencias continuas, como se muestra en la Gráfica 3.2:

**Gráfica 3.2: Función de pertenencia del conjunto difuso joven si U es continuo**



En general, si una función de pertenencia se da especificando los valores correspondientes a un conjunto discreto de elementos del universo de discurso, el valor asociado al resto de los elementos se obtiene por interpolación (utilizando la ecuación de la recta que une los dos puntos).

### 3.2.2 Definiciones

<sup>14</sup>Según los apuntes de la Teoría de conjuntos difusos y lógica difusa de la Universidad de Málaga, se define:

- *Variable lingüística* a aquella noción o concepto que se va a calificar de forma difusa. Por ejemplo: la altura, la edad, el error, la variación del error, etc. Se le aplica el adjetivo "lingüística" porque se definirá sus características mediante el lenguaje hablado.

- *Universo de discurso* al rango de valores que pueden tomar los elementos que poseen la propiedad expresada por la variable lingüística. En el

<sup>14</sup> PUBLICACIONES. *Teoría de Conjuntos Difusos y Lógica Difusa*, España. Facultad de Lenguaje y Ciencia de la Comunicación de la Universidad de Málaga.

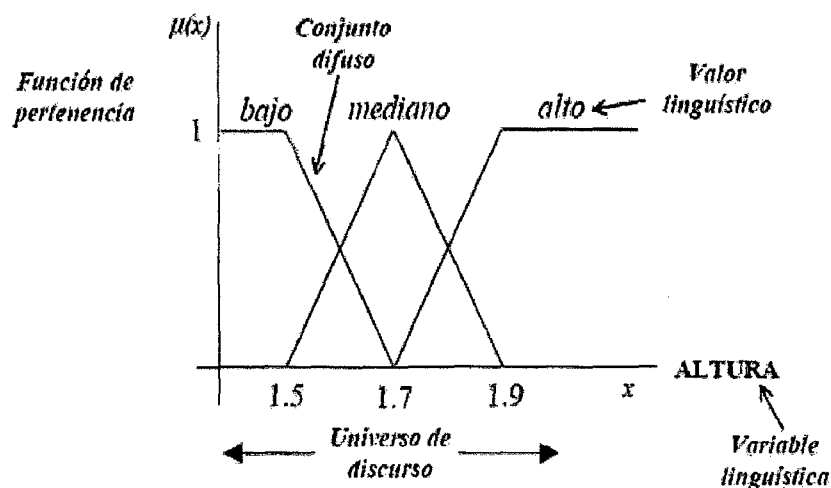
caso de la variable lingüística “altura de una persona normal”, sería el conjunto de valores comprendido entre 1.4 y 2.3 m.

- *Valor lingüístico* a las diferentes clasificaciones que se efectúa sobre la variable lingüística: en el caso de la altura, se puede dividir el universo de discurso en los diferentes valores lingüísticos: por ejemplo bajo, mediano y alto.

- *Conjunto difuso* a un valor lingüístico junto a una función de pertenencia. El valor lingüístico es el “nombre” del conjunto, y la función de pertenencia se define como aquella aplicación que asocia a cada elemento del universo de discurso el grado con que pertenece al conjunto difuso. Se dice que un conjunto es *nítido* si su función de pertenencia toma valores en  $\{0,1\}$ , y *difuso* si toma valores en  $[0,1]$ .

Por ejemplo, se considerará la variable lingüística “Altura de los seres humanos”, que toma valores en el universo de discurso  $U = [1.4, 2.50]$ . Se procederá a realizar una clasificación difusa de los seres humanos en tres conjuntos difusos (o valores lingüísticos): *bajos*, *medianos* y *altos*.

**Gráfica 3.3: Función de pertenencia con tres conjuntos difusos**



En la Gráfica 3.3 se ha dibujado 3 conjuntos difusos sobre la variable lingüística altura, cuyos valores lingüísticos asociados son *bajo*, *mediano* y *alto* respectivamente. Las funciones de pertenencia son de tipo L para *bajo*, Lambda

o Triángulo para el *mediano* y Gamma para el *alto*. Más adelante se aclarará porqué se usa estos nombres, que únicamente determinan qué forma tendrán las funciones de pertenencia. De este modo si Luis mide 1.80 metros, la lógica difusa dice que es un 0.2 mediano y un 0.8 alto.

De este modo se expresa que mientras un elemento puede estar dentro de un determinado conjunto, puede no cumplir las especificaciones de dicho conjunto al cien por cien (por ejemplo, en el caso de Luis, a la vista del resultado podríamos afirmar que es *poco mediano* y *más bien alto*).

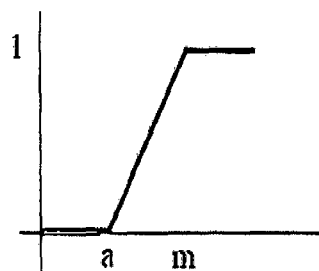
### 3.2.3 Funciones de Pertenencia

<sup>15</sup>Aunque en principio cualquier función sería válida para definir conjuntos difusos, en la práctica hay ciertas funciones típicas que siempre se suelen usar, tanto por la facilidad de computación que su uso conlleva como por su estructura lógica para definir su valor lingüístico asociado. Las funciones más comunes son: la función Gamma, la función L, y la función Lambda o Triangular, que se muestran en la Gráfica 3.4 siguiente:

**Gráfica 3.4: Funciones de pertenencia comunes**

#### i) Función GAMMA ( $\Gamma$ ):

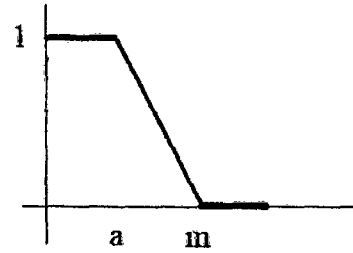
$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ (x-a)/(m-a) & \text{si } x \in (a,m) \\ 1 & \text{si } x \geq m \end{cases}$$



<sup>15</sup> PUBLICACIONES. *Teoría de Conjuntos Difusos y Lógica Difusa*, España. Facultad de Lenguaje y Ciencia de la Comunicación de la Universidad de Málaga.

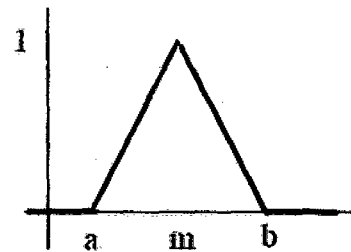
## ii) Función L:

Puede definirse simplemente como 1 menos la función GAMMA.



## iii) Función LAMBDA o triangular:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ (x-a)/(m-a) & \text{si } x \in (a, m] \\ (b-x)/(b-m) & \text{si } x \in (m, b) \\ 0 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$



Las funciones L y GAMMA se usan para calificar valores lingüísticos extremos, tales como bebé o anciano, respectivamente. La función LAMBDA se usa para describir valores intermedios (como joven, de mediana edad, maduro).

## 3.3 Escala de Likert

### 3.3.1 Introducción

La escala de Likert consiste en un conjunto de ítems bajo la forma de afirmaciones o juicios ante los cuales se solicita la reacción (favorable o desfavorable, positiva o negativa) de los individuos, comúnmente utilizada en cuestionarios, y es la escala de uso más amplio en encuestas para la investigación.

<sup>16</sup>Según el Dr. Héctor Luis Ávila Baray en su libro "Introducción a la Metodología de la Investigación", indica que la escala de Likert es una escala ordinal que sirve para medir actitudes y como tal no mide en cuánto es más favorable o desfavorable una actitud, es decir que si una persona obtiene una puntuación de 60 puntos en una escala, no significa esto que su actitud hacia el fenómeno medido sea doble que la de otro individuo que obtenga 30 puntos, pero sí informa que el que obtiene 60 puntos tiene una actitud más favorable que el que tiene 30.

La escala se construye en función de una serie de ítems que reflejan una actitud positiva o negativa acerca de un estímulo o referente. Cada ítem está estructurado con cinco alternativas de respuesta:

- ( ) Totalmente de acuerdo
- ( ) De acuerdo
- ( ) Indiferente
- ( ) En desacuerdo
- ( ) Totalmente en desacuerdo

La unidad de análisis que responde a la escala marcará su grado de aceptación o rechazo hacia la proposición expresada en el ítem. Los ítems por lo general tienen implícita una dirección positiva o negativa.

La calificación o puntuación se asigna de acuerdo a la dirección del ítem, si tiene una dirección positiva la puntuación es:

- ( 4 ) Totalmente de acuerdo
- ( 3 ) De acuerdo
- ( 2 ) Indiferente
- ( 1 ) En desacuerdo
- ( 0 ) Totalmente en desacuerdo.

---

<sup>16</sup> AVILA Baray, H.L. *Introducción a la metodología de la investigación*. Edición electrónica. 2006.

### 3.4 Mapa de Procesos y la aplicación en los métodos a investigar

El mapa de procesos ofrece una visión general del sistema de gestión en una organización. En él se representan los procesos que componen el sistema así como sus relaciones principales. Dichas relaciones se indican mediante flechas y registros que representan los flujos de información.

Asimismo, impulsa a la partida a poseer una visión más amplia, mostrando cómo sus actividades están relacionadas con los clientes externos, proveedores y grupos de interés. Tales "mapas" dan la oportunidad de mejorar la coordinación entre los elementos clave del sistema.

El primer paso para poder seleccionar los procesos sobre los que actuar es clasificarlos. Se distingue tres tipos de procesos:

- **Procesos de gestión:** son aquellos que proporcionan directrices a todos los demás procesos. Se suelen referir a las leyes, normativas, etc. aplicables a la partida y que no son controladas por ella misma.
- **Procesos claves:** son aquellos que tienen impacto directo en la partida creándole valor. Son las actividades esenciales de la partida, su razón de ser.
- **Procesos de soporte:** aquellos que dan apoyo a los procesos fundamentales, su función es hacer que se cumpla los procesos claves.

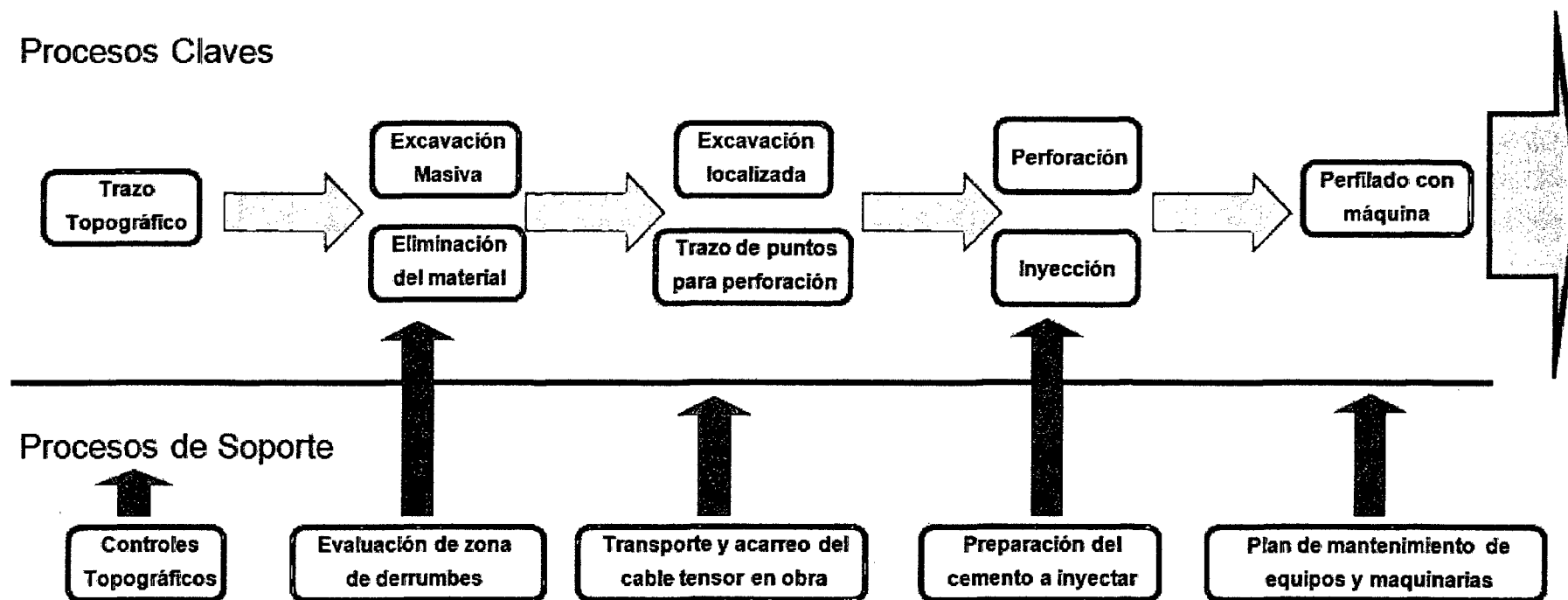
Para fines de la presente investigación, se realizó el Mapa de Procesos para el sistema de Muros Pantalla en base al Mapa de Procesos de Muro Pantalla del *Sistema de Gestión de Calidad del edificio "Capital" – GyM – División de Edificaciones* y el Mapa de Procesos para el sistema de Calzaduras. (Ver Figuras 3.2 y 3.3)

Figura 3.2: Mapa de procesos de Muro Pantalla

Procesos de Gestión



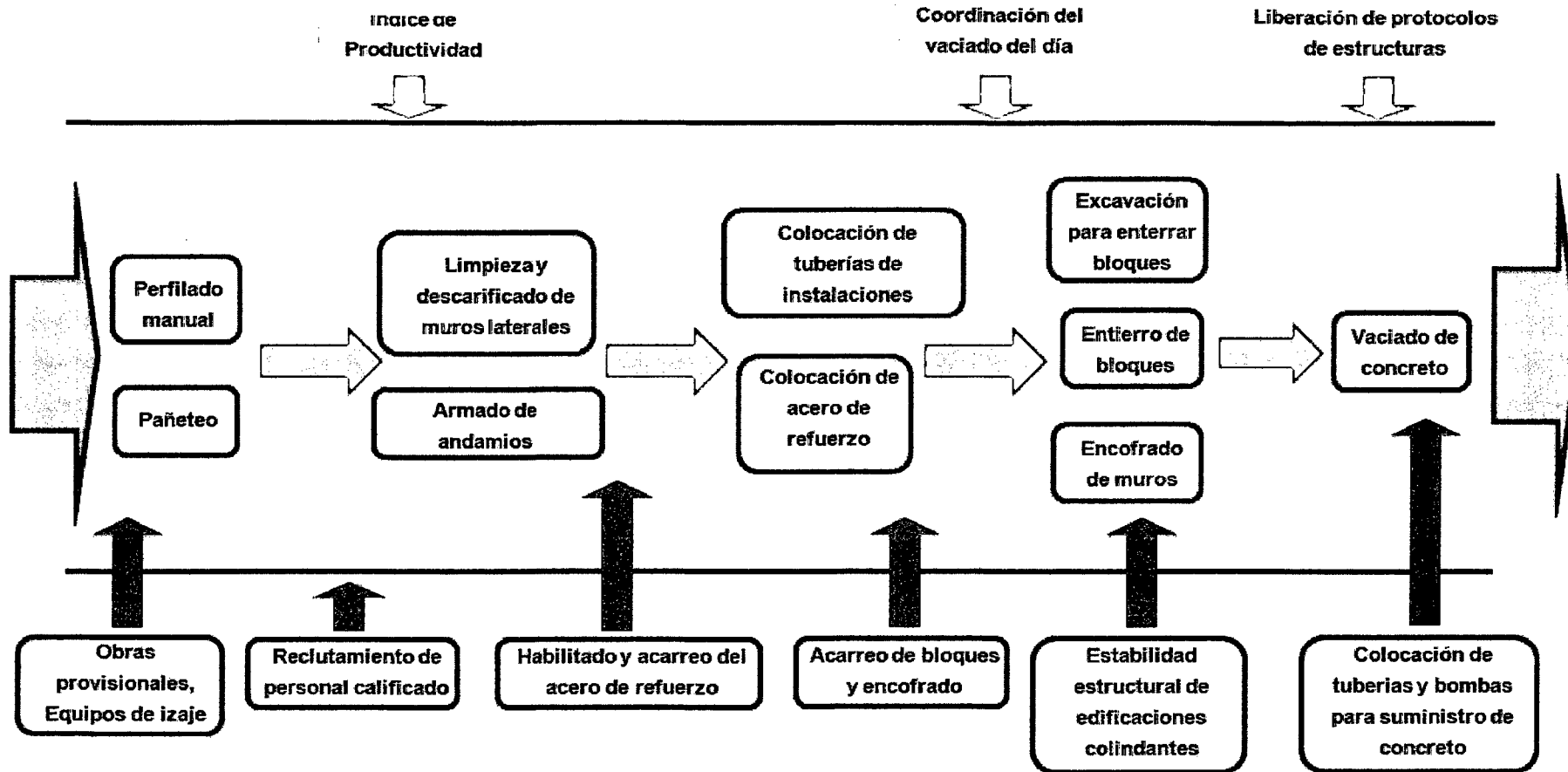
Procesos Claves



\* Mapa de Procesos hecho en base al Mapa de Procesos de Muro Pantalla del Sistema de Gestión de Calidad del edificio "Capital". GyM - División de Edificaciones.

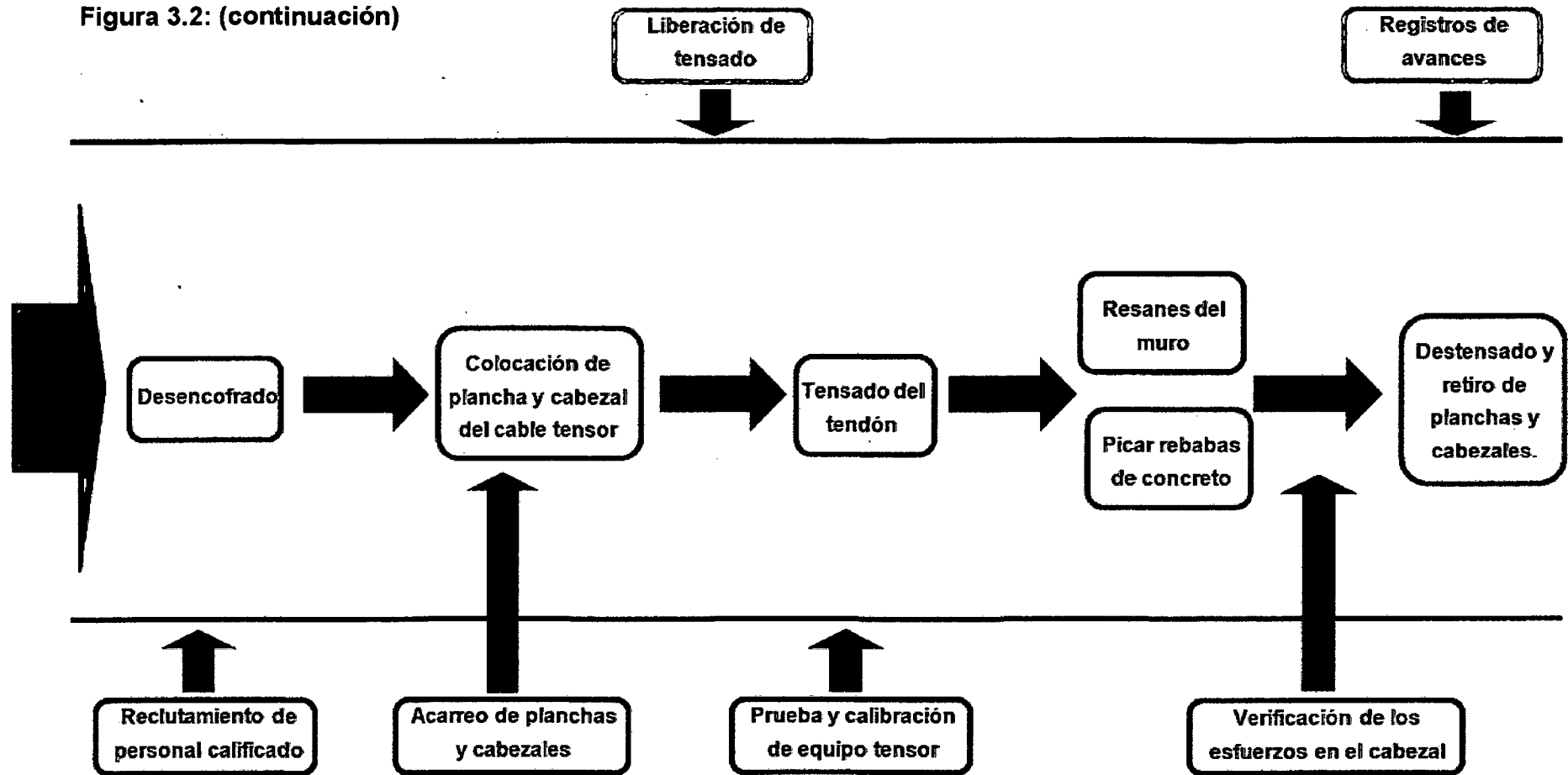


Figura 3.2: (continuación)



\* Mapa de Procesos hecho en base al Mapa de Procesos de Muro Pantalla del Sistema de Gestión de Calidad del edificio "Capital". GyM - División de Edificaciones.

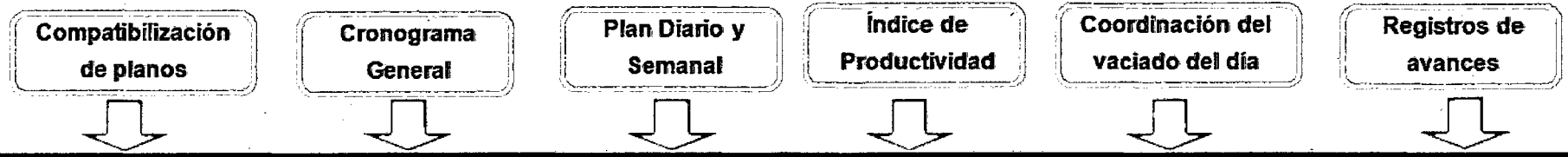
Figura 3.2: (continuación)



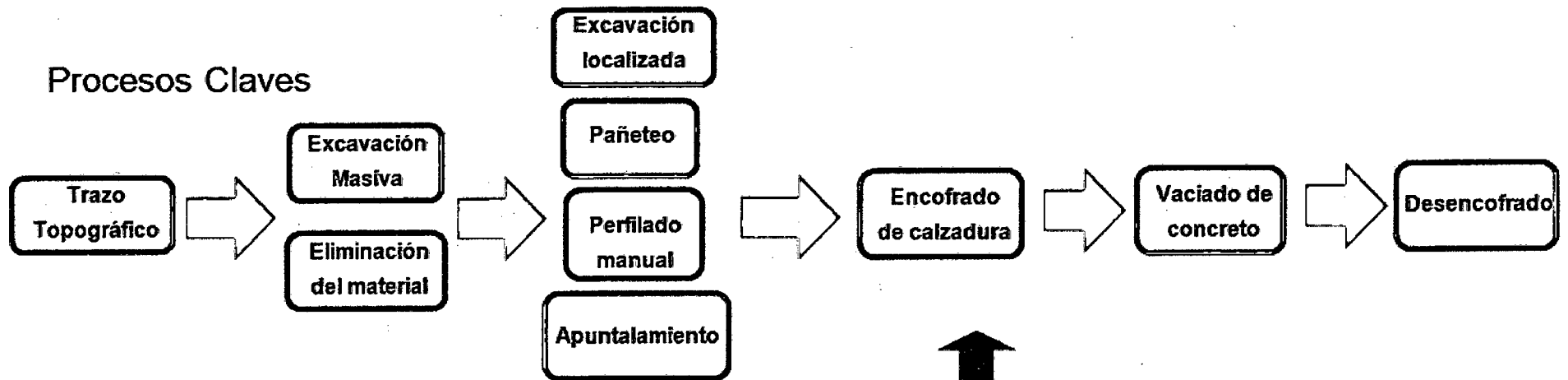
\* Mapa de Procesos hecho en base al Mapa de Procesos de Muro Pantalla del Sistema de Gestión de Calidad del edificio "Capital". GyM - División de Edificaciones.

Figura 3.3: Mapa de Procesos de Calzaduras

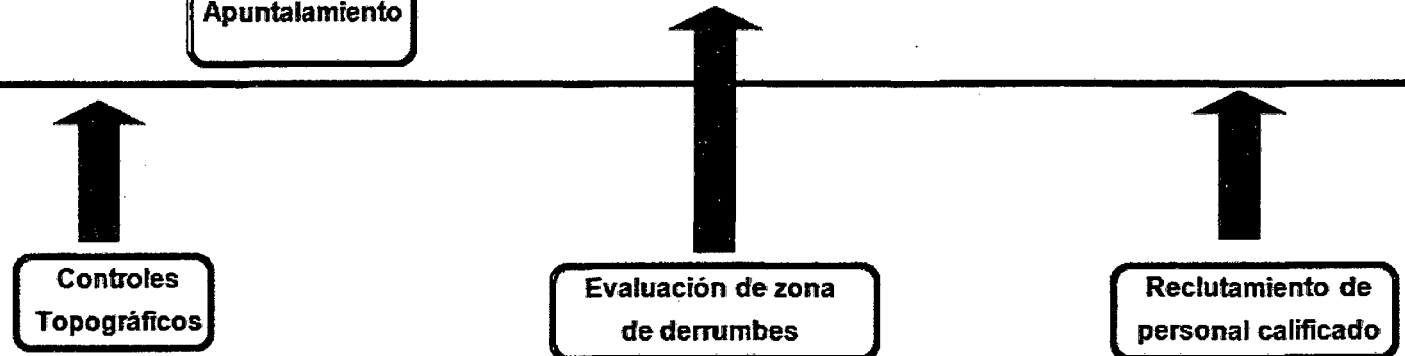
Procesos de Gestión



Procesos Claves



Procesos de Soporte



"Análisis cualitativo de los métodos de estabilización de excavaciones profundas: Muro Pantalla y Calzada, en el distrito de San Isidro."  
 Bach. Mendoza Lau, Enrique

En base a las experiencias de ingenieros residentes, capataces y con la técnica de lluvia de ideas entre los ingenieros que han participado en proyectos y obras usando el método de **Muro Pantalla**, se han identificado los procesos críticos en la construcción de este tipo de obras:

- Procesos críticos identificados en base a su sensibilidad en el plazo:
  - Coordinación del vaciado del día (G): *coordinar la cantidad, el diseño y la hora de llegada con la empresa proveedora de concreto.*
  - Excavación masiva (C): *excavación con equipos mayores (excavadoras de oruga, cargadores frontales, etc.) con un control de excavación y avance a gran escala.*
  - Excavación localizada (C): *excavación con equipos menores (mini cargadores, retroexcavadoras, etc.) con un control de excavación y avance al detalle.*
  - Perforación (C): *perforación del talud que se va a reforzar con el Muro Pantalla usando la máquina perforadora.*
  - Inyección (C): *inyección de la lechada de cemento al talud perforado.*
  - Perfilado manual (C): *perfilear manualmente el talud a estabilizar con el fin de tener la mejor verticalidad posible al plomo del muro.*
  - Entierro de bloques (C): *colocación de bloques de concreto que se usarán como muertos para el apoyo del encofrado del muro.*
  - Vaciado de concreto (C): *colocación del concreto fresco dentro del encofrado del muro.*
  - Tensado del tendón (C): *aplicación de tensión al tendón una vez el muro de concreto alcance una resistencia mayor al de la fuerza de tensado para evitar fallas por punzonamiento.*
  - Plan de mantenimiento de equipos y maquinarias (S): *planificación periódica de las actividades de limpieza y mantenimiento de los equipos a usar en la actividad.*
  - Habilitado y acarreo del acero de refuerzo (S): *habilitar y colocar en obra a tiempo el acero a usar para los muros.*

- Procesos críticos identificados en base a su seguridad:
  - Estabilidad estructural de edificaciones colindantes (S): verificar la *estabilidad estructural de las edificaciones colindantes antes del vaciado de los muros de concreto del sistema.*
  - Excavación masiva (C): *excavación con equipos mayores (excavadoras de oruga, cargadores frontales, etc.) con un control de excavación y avance a gran escala.*
  - Excavación localizada (C): *excavación con equipos menores (mini cargadores, retroexcavadoras, etc.) con un control de excavación y avance al detalle.*
  - Perforación (C): *perforación del talud que se va a reforzar con el Muro Pantalla usando la máquina perforadora.*
  - Inyección (C): *inyección de la lechada de cemento al talud perforado.*
  - Perfilado con máquina (C): *perfiar con equipos menores (retro excavadoras, etc.) el talud a estabilizar con el fin de tener una verticalidad cercana a la del plomo del muro.*
  - Entierro de bloques (C): *colocación de bloques de concreto que se usarán como muertos para el apoyo del encofrado del muro.*
  - Vaciado de concreto (C): *colocación del concreto fresco dentro del encofrado del muro.*
  - Tensado del tendón (C): *aplicación de tensión al tendón una vez el muro de concreto alcance una resistencia mayor al de la fuerza de tensado para evitar fallas por punzonamiento.*
  - Verificación de los esfuerzos en el cabezal (S): *Verificar los esfuerzos del cabezal del tendón antes del destensado.*
  - Evaluación de zona de derrumbes (S): *Analizar, estudiar y evaluar el entorno interno (trabajos cercanos al talud descubierto, material suelto en el talud, etc.) y externo (cargas considerables cerca al talud a trabajar, filtración de agua en edificios vecinos, etc.) de la zona de excavación del talud.*

- Procesos críticos identificados en base a su incidencia en el costo:
  - Compatibilización de planos (G): *verificar y compatibilizar los planos de excavación (niveles, ejes, ubicaciones, volúmenes), estructuras (acero de refuerzos, dimensiones, ejes, niveles), etc. entre ellos y la realidad en el campo.*
  - Excavación masiva (C): *excavación con equipos mayores (excavadoras de oruga, cargadores frontales, etc.) con un control de excavación y avance a gran escala.*
  - Perforación (C): *perforación del talud que se va a reforzar con el Muro Pantalla usando la máquina perforadora.*
  - Inyección (C): *inyección de la lechada de cemento al talud perforado.*
  - Entierro de bloques (C): *colocación de bloques de concreto que se usarán como muertos para el apoyo del encofrado del muro.*
  - Encofrado de muros (C): *colocación del material de encofrado correctamente alineado al volumen donde se colocará el concreto fresco.*
  - Vaciado de concreto (C): *colocación del concreto fresco dentro del encofrado del muro.*
  - Desencofrado (C): *desarme de todo el material usado para el encofrado una vez que el concreto del muro obtenga la suficiente resistencia para no perder sus dimensiones.*
  - Tensado del tendón (C): *aplicación de tensión al tendón una vez el muro de concreto alcance una resistencia mayor al de la fuerza de tensado para evitar fallas por punzonamiento.*
  - Destensado y retiro de planchas y cabezales (C): *descarga de tensión aplicada al tendón una vez finalizada toda la excavación y sea innecesaria su sujeción mediante tensión.*
  - Plan de mantenimiento de equipos y maquinarias (S): *planificación periódica de las actividades de limpieza y mantenimiento de los equipos a usar en la actividad.*
  - Obras provisionales, Equipos de izaje (S): *instalación de las obras provisionales y los equipos de izaje (grúa torre, móvil o faja transportadora).*

- Procesos críticos identificados en base a su incidencia en la calidad:
  - Compatibilización de planos (G): *verificar y compatibilizar los planos de excavación (niveles, ejes, ubicaciones, volúmenes), estructuras (acero de refuerzos, dimensiones, ejes, niveles), etc. entre ellos y la realidad en el campo.*
  - Estabilidad estructural colindante (S): *verificar la estabilidad estructural de las edificaciones colindantes antes del vaciado de los muros de concreto del sistema.*
  - Trazo topográfico (C): *el trazo de los ejes, y líneas de referencias para la ejecución de la excavación y de los muros postensados.*
  - Trazo de puntos de perforación (C): *ubicación y trazo del punto exacto a perforar en el talud libre considerando el ángulo de perforación.*
  - Perforación (C): *perforación del talud que se va a reforzar con el Muro Pantalla usando la máquina perforadora.*
  - Inyección (C): *inyección de la lechada de cemento al talud perforado.*
  - Perfilado con máquina (C): *perfilear con equipos menores (retro excavadoras, etc.) el talud a estabilizar con el fin de tener una verticalidad cercana a la del plomo del muro.*
  - Encofrado de muros (C): *colocación del material de encofrado correctamente alineado al volumen donde se colocará el concreto fresco.*
  - Vaciado de concreto (C): *colocación del concreto fresco dentro del encofrado del muro.*
  - Tensado del tendón (C): *aplicación de tensión al tendón una vez el muro de concreto alcance una resistencia mayor al de la fuerza de tensado para evitar fallas por punzonamiento.*
  - Verificación de los esfuerzos en el cabezal (S): *Verificar los esfuerzos del cabezal del tendón antes del destensado.*
  - Controles topográficos (S): *verificación continua de los trazos realizados por el topógrafo antes y después de realizada la construcción.*
  - Reclutamiento de personal calificado (S): *Selección de personal calificado disponible en el medio que cubra con los requerimientos de personal para la actividad.*
  - Prueba y calibración de equipo tensor (S): *Verificar y mantener calibrado el equipo tensor durante su uso.*

Usando la misma técnica, se han identificado los procesos críticos para el método de las **Calzaduras**:

- Procesos críticos identificados en base a su sensibilidad en el plazo:
  - Excavación masiva (C): *excavación con equipos mayores (excavadoras de oruga, cargadores frontales, etc.) con un control de excavación y avance a gran escala.*
  - Excavación localizada (C): *excavación con equipos menores (mini cargadores, retroexcavadoras, etc.) con un control de excavación y avance al detalle.*
  - Apuntalamiento (C): *apuntalado del muro libre a excavar y a rellenar con concreto.*
  - Encofrado (C): *colocación del material de encofrado correctamente encerrando el volumen a vaciar el concreto fresco dentro del muro como relleno de Calzadura.*
  - Perfilado manual (C): *perfiar manualmente el talud a estabilizar.*
  - Vaciado de concreto (C): *colocación del concreto fresco dentro del encofrado de la Calzadura.*
  - Evaluación de zona de derrumbes (S): *Analizar, estudiar y evaluar el entorno interno (trabajos cercanos al talud descubierto, material suelto en el talud, etc.) y externo (cargas considerables cerca al talud a trabajar, filtración de agua en edificios vecinos, etc.) de la zona de excavación del talud.*
  
- Procesos críticos identificados en base a su seguridad:
  - Excavación masiva (C): *excavación con equipos mayores (excavadoras de oruga, cargadores frontales, etc.) con un control de excavación y avance a gran escala.*
  - Excavación localizada (C): *excavación con equipos menores (mini cargadores, retroexcavadoras, etc.) con un control de excavación y avance al detalle.*



- Apuntalamiento (C): *apuntalado del muro libre a excavar y a rellenar con concreto.*
  - Encofrado (C): *colocación del material de encofrado correctamente encerrando el volumen a vaciar el concreto fresco dentro del muro como relleno de Calzadura.*
  - Vaciado de concreto (C): *colocación del concreto fresco dentro del encofrado de la Calzadura.*
  - Desencofrado (C): *desarme de todo el material usado para el encofrado una vez que el concreto del muro obtenga la suficiente resistencia para no perder sus dimensiones.*
  - Evaluación de zona de derrumbes (S): *Analizar, estudiar y evaluar el entorno interno (trabajos cercanos al talud descubierto, material suelto en el talud, etc.) y externo (cargas considerables cerca al talud a trabajar, filtración de agua en edificios vecinos, etc.) de la zona de excavación del talud.*
  - Reclutamiento de personal calificado (S): *Selección de personal calificado disponible en el medio que cubra con los requerimientos de personal para la actividad.*
- Procesos críticos identificados en base a su incidencia en el costo:
    - Compatibilización de planos (G): *verificar y compatibilizar los planos de excavación (niveles, ejes, ubicaciones, volúmenes), estructuras (acero de refuerzos, dimensiones, ejes, niveles), etc. entre ellos y la realidad en el campo.*
    - Excavación masiva (C): *excavación con equipos mayores (excavadoras de oruga, cargadores frontales, etc.) con un control de excavación y avance a gran escala.*
    - Encofrado (C): *colocación del material de encofrado correctamente encerrando el volumen a vaciar el concreto fresco dentro del muro como relleno de Calzadura.*
    - Vaciado de concreto (C): *colocación del concreto fresco dentro del encofrado de la Calzadura.*
    - Controles topográficos (S): *verificación continua de los trazos realizados por el topógrafo antes y después de realizada la construcción.*

- Evaluación de zona de derrumbes (S): *Analizar, estudiar y evaluar el entorno interno (trabajos cercanos al talud descubierto, material suelto en el talud, etc.) y externo (cargas considerables cerca al talud a trabajar, filtración de agua en edificios vecinos, etc.) de la zona de excavación del talud.*
  - Reclutamiento de personal calificado (S): *Selección de personal calificado disponible en el medio que cubra con los requerimientos de personal para la actividad.*
- Procesos críticos identificados en base a su incidencia en la calidad:
    - Compatibilización de planos (G): *verificar y compatibilizar los planos de excavación (niveles, ejes, ubicaciones, volúmenes), estructuras (acero de refuerzos, dimensiones, ejes, niveles), etc. entre ellos y la realidad en el campo.*
    - Coordinación del vaciado del día (G): *coordinar la cantidad, el diseño y la hora de llegada con la empresa proveedora de concreto.*
    - Trazo topográfico (C): *el trazo de los ejes, y líneas de referencias para la ejecución de la excavación y de los muros postensados.*
    - Excavación localizada (C): *excavación con equipos menores (mini cargadores, retroexcavadoras, etc.) con un control de excavación y avance al detalle.*
    - Encofrado (C): *colocación del material de encofrado correctamente encerrando el volumen a vaciar el concreto fresco dentro del muro como relleno de Calzadura.*
    - Vaciado de concreto (C): *colocación del concreto fresco dentro del encofrado de la Calzadura.*
    - Controles topográficos (S): *verificación continua de los trazos realizados por el topógrafo antes y después de realizada la construcción.*
    - Evaluación de zona de derrumbes (S): *Analizar, estudiar y evaluar el entorno interno (trabajos cercanos al talud descubierto, material suelto en el talud, etc.) y externo (cargas considerables cerca al talud a trabajar, filtración de agua en edificios vecinos, etc.) de la zona de excavación del talud.*
    - Reclutamiento de personal calificado (S): *Selección de personal calificado disponible en el medio que cubra con los requerimientos de personal para la actividad.*

### 3.5 Recolección de Información.

Para la recolección de datos se procedió a encuestar a profesionales y personal con experiencia en los métodos de Calzaduras y Muro Pantalla. La encuesta tuvo como finalidad conocer la percepción de los encuestados acerca de ambos métodos teniendo en cuenta los criterios de plazo, seguridad, costo y calidad. y de esta manera tener una muestra representativa. (Ver Anexo N° 01: Modelo de encuesta.)

#### 3.5.1 Diseño de la encuesta

La encuesta se elaboró de la siguiente manera:

- **Introducción:**
  - **Presentación de la encuesta:** En esta sección se presenta el título y el objetivo que se busca en esta encuesta,
  - **Datos profesionales de la persona a encuestar:** En esta sección se pide los datos profesionales de los encuestados.
  - **Instrucciones para llenar la encuesta:** En esta sección se presenta las instrucciones así como la leyenda, teniendo como base el uso de la escala de Likert, para poder clasificar sus opiniones:
    - A: Totalmente de acuerdo
    - B: De acuerdo
    - C: Indeciso
    - D: En desacuerdo
    - E: Totalmente en desacuerdo
  - **Instrucciones para llenar la encuesta:**
- **Cuerpo de la encuesta:** En esta sección se pide las opiniones que tienen los encuestados con respecto a los métodos de estabilización teniendo en cuenta los criterios de plazo, seguridad, costo y calidad.

Proceso del método de estabilización	A	B	C	D	E
Proceso 1					
Proceso 2					
Proceso 3					
...					
Proceso (n)					

### 3.5.2 Tamaño de la muestra

Para determinar el número de encuestas a realizar, se ha tenido que estimar una muestra representativa de la población con conocimiento y experiencia en ambos métodos de excavación.

El tipo de muestreo que se ha usado para estimar la muestra es el probabilístico aleatorio simple. En este tipo de muestreo, la probabilidad de aparición en una muestra de cualquier elemento de la población es conocida (o calculable).

La expresión a utilizar para calcular el tamaño de la muestra es:

$$n = (Z^2 \cdot p \cdot q) / d^2 \dots \dots \dots \text{(Ecuación 01)}$$

Donde:

- n: total de datos de la muestra (número de encuestas a realizar)
- Z: constante que depende del nivel de confianza que se asigne.
- p: probabilidad que el evento ocurra.
- q: probabilidad que el evento no ocurra.
- d: error de estimación.

<sup>17</sup>El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de la investigación sean ciertos. Ejemplo: un 96 % de confianza es lo mismo que decir que se puede equivocar con una probabilidad del 4%. El valor de Z se encuentra de las tablas de Distribución Normal. Para esta investigación se estimará con un grado de confianza de 90% lo cual significa que Z es igual a 1.645.

El tamaño de la muestra fue calculado bajo el supuesto de la máxima dispersión ( $p=q=50\%=0.5$ ), que implicará una desviación típica superior y en consecuencia, una muestra de mayor tamaño (para que los resultados sean más confiables), y un error de estimación del 10 %.

Reemplazando los valores en la ecuación 01, se obtiene el valor de "n" igual a  $67.6 \approx 68$ .

### 3.5.3 Valores atípicos de la muestra

<sup>18</sup>A veces un conjunto de datos tiene uno o más elementos con valores demasiado grandes o demasiado pequeños. A los valores extremos como éstos se les llama valores atípicos. Un valor atípico puede ser un elemento para el cual se haya anotado su valor en forma errónea. También puede ser uno que por error se incluyó en el conjunto de datos y por último, puede ser tan solo un elemento poco común que se haya anotado en forma correcta.

Los valores estandarizados (valores z) pueden emplearse para identificar los valores atípicos. Según la regla empírica del teorema de Chebyshev, casi todos los datos de la distribución estarán a menos de tres desviaciones estándar del promedio. Es decir, al usar los valores z para identificar valores atípicos se recomienda considerar que cualquier elemento con un valor z inferior a -3 o superior a +3 sea tratado como un valor atípico.

El valor de z se puede interpretar como el número de desviaciones estándar que dista  $x_i$  del promedio  $\bar{x}$  y su fórmula es la siguiente:

---

<sup>17</sup> Feedback Networks

Experiencia: La Experiencia de Preguntar. ¿Cómo calcular la muestra correcta?

<http://www.feedbacknetworks.com/cas/experiencia/sol-preguntar-calculer.htm#>.

<sup>18</sup> ANDERSON, SWEENEY, WILLIAMS. *Estadística para administración y economía*. Octava Edición.

$$z_i = (x_i - \bar{x}) / s$$

Donde:

$z_i$  = el valor z del elemento  $x_i$

$\bar{x}$  = media de la muestra

$s$  = desviación estándar de la muestra

En este análisis, se usa la ecuación de los valores atípicos para detectar si es que alguno de los valores obtenidos en la encuesta se encuentra fuera del rango permisible de la desviación estándar ( $z < -3$  ó  $z > +3$ ).

### 3.6 Análisis y evaluación de los resultados

Una vez realizada la encuesta, con el fin de verificar los resultados y detectar los valores atípicos, se obtuvo el promedio, la varianza y la desviación estándar de cada pregunta de la encuesta dentro de cada criterio de cada método. Dicha información se tabuló tal como se muestra en el anexo: Cuadro de los valores atípicos (Zn). Se puede observar que la cantidad de valores atípicos (Zn) está dentro del rango de error esperado, menor del 10% de 68, por lo tanto no es necesario omitir dichos valores y cambiarlos por el promedio de cada pregunta.

Luego, se procedió a graficar los promedios obtenidos de cada pregunta de la encuesta versus las preguntas formuladas. Asimismo, en cada gráfica se halló la media de los promedios obtenidos, estableciendo así una línea de control. Ver anexo: Gráficas de puntuaciones de los procesos.

Cabe señalar, nuevamente, que en el eje de las abscisas se han considerado los procesos de cada método a modo de preguntas y en el eje de las ordenadas se han considerado los valores de las respuestas en la escala de Likert fijada en la encuesta.

En el análisis, con el fin de detectar los procesos críticos, sólo se está considerando los puntos máximos y mínimos obtenidos de cada proceso.

### 3.6.1 Análisis del Muro Pantalla

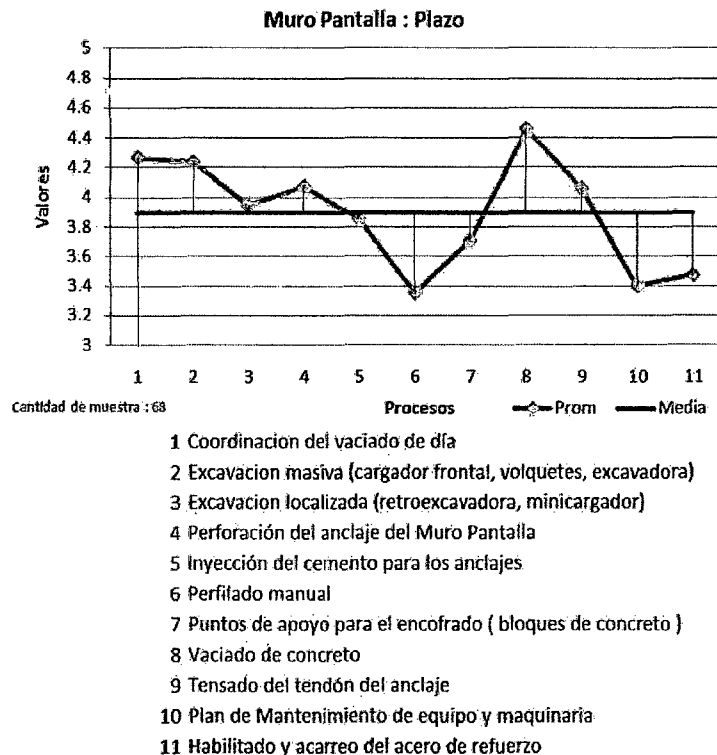
Según los puntos críticos de acuerdo a cada criterio

#### a) Plazo

De la Gráfica 3.5 se puede observar que en el método de Muro Pantalla destaca el proceso nº 8 (Vaciado de concreto) con una calificación promedio de 4.46, y del cual se infiere que este proceso podría influir sensiblemente en el plazo. Es decir, una variación en este proceso determinaría que el plazo de ejecución total se acorte o se alargue considerablemente.

Por otro lado los procesos nº 6 (Perfilado manual) y nº 10 (Plan de mantenimiento de equipo y maquinaria), con una calificación de 3.35 y 3.4 respectivamente, puede no afectar considerablemente al plazo total de la ejecución del método. Es decir, una variación en estos procesos no determinaría un cambio significativo del plazo de ejecución total del método.

Gráfica 3.5: Análisis del método de Muro Pantalla según Plazo

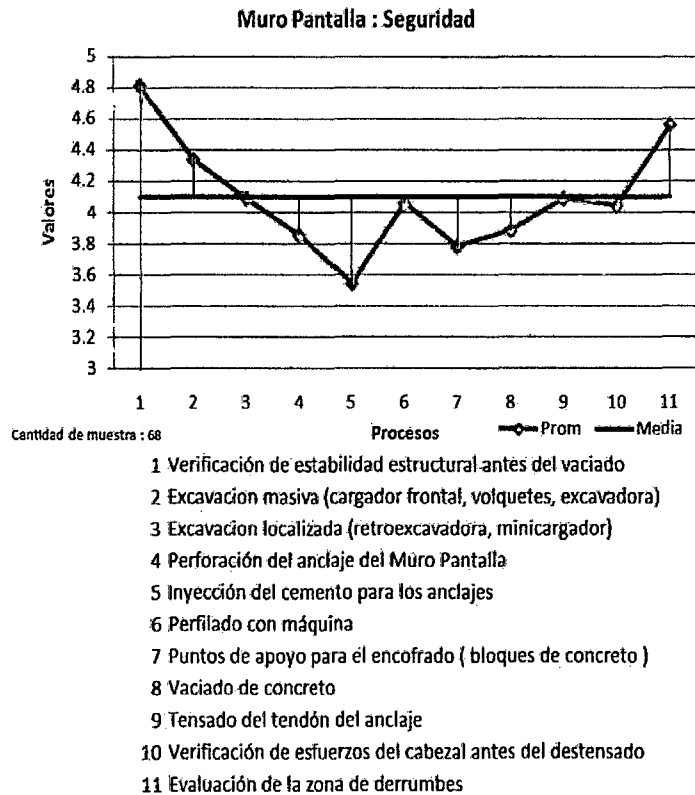


### b) Seguridad

En este caso, en la Gráfica 3.6 se aprecia que el proceso con calificación más alta es el n° 1 (Verificación de estabilidad estructural antes del vaciado) con un puntaje de 4.81 según la escala de Likert asociada. Es decir, si es que en este proceso no se inspeccionan los puntos a verificar, las condiciones inseguras podrían no controlarse y es probable que exista riesgo de accidente.

El proceso con menor puntaje es el n° 5 (Inyección del cemento para los anclajes) con 3.54 puntos. Esto quiere decir que el proceso no necesitaría un mayor control pues los actos y condiciones inseguras son mínimos.

**Gráfica 3.6: Análisis del método de Muro Pantalla según Seguridad**



### c) Costo

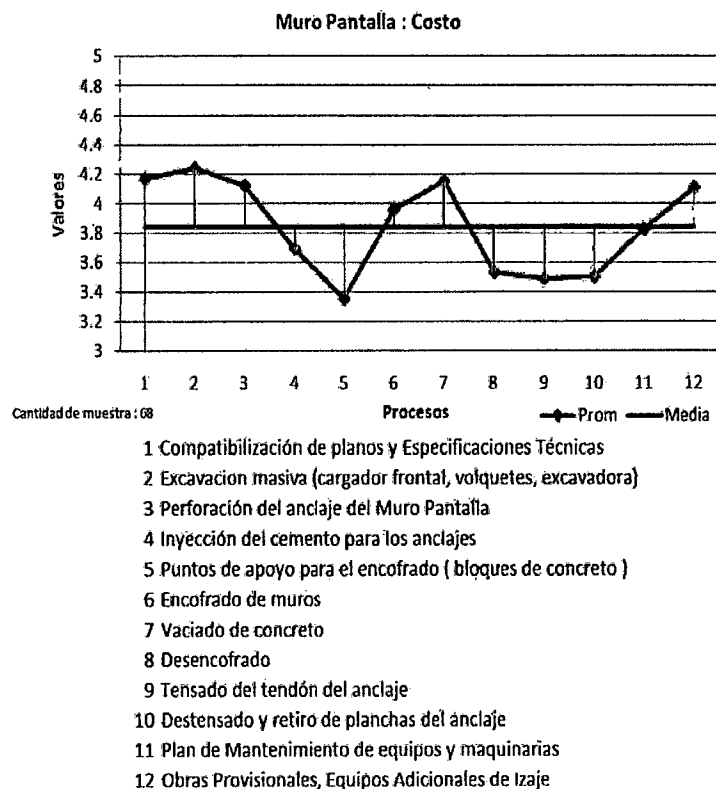
Analizando el método de Muro Pantalla bajo el criterio del costo, se puede observar en la Gráfica 3.7 que el proceso que más influye es el n° 2 (Excavación masiva), con una calificación de 4.24 puntos. Es decir, una variación



(tiempo de ejecución, costo de mantenimiento, horas máquina stand by, etc.) en el proceso de excavación masiva implicaría un aumento o disminución del costo total de la ejecución del Muro Pantalla.

Luego el proceso con menor calificación es el nº 5 (Puntos de apoyo para el encofrado) con 3.54 puntos. Esto quiere decir que una variación en la colocación de los puntos de apoyo para el encofrado podría no determinar una variación considerable en el costo total de la ejecución del Muro Pantalla.

**Gráfica 3.7: Análisis del método de Muro Pantalla según Costo**



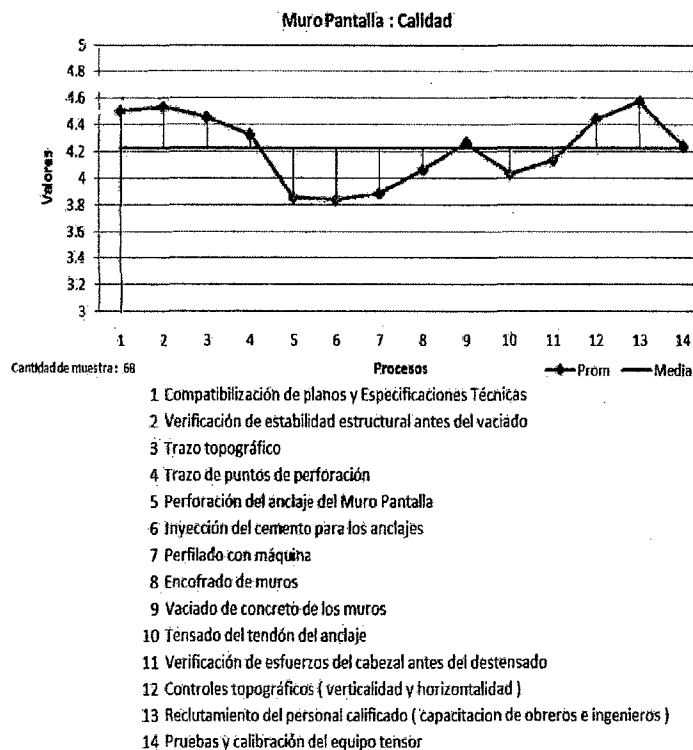
#### d) Calidad

Se puede observar en la Gráfica 3.8 que la mayor cantidad de procesos con mayor influencia se encuentran al inicio, el proceso con mayor puntaje es el nº 13 (Reclutamiento del personal calificado). Es decir, el recurso determinante para la calidad final del método de sostenimiento usado es el personal calificado.

A partir del proceso n° 5 hasta el n° 9 empieza una serie de procesos con la calificación más baja, lo cual se puede deducir que estos procesos no influyen notablemente en la calidad del método de Muro Pantalla.

El proceso con menor puntaje es el n° 6 (Inyección del cemento para los anclajes) con 3.84 puntos. Es decir, el modo de realizar dicho proceso no afectaría considerablemente en la calidad final de la ejecución de Muro Pantalla.

**Gráfica 3.8: Análisis del método de Muro Pantalla según Calidad**



### 3.6.2 Análisis de las Calzaduras

**Según los puntos críticos de acuerdo a cada criterio**

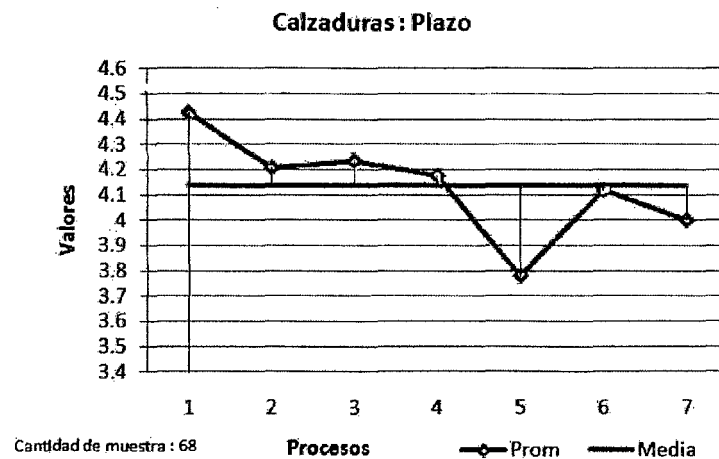
#### a) Plazo

De la Gráfica 3.9 se puede observar que en el método de Calzadura destaca el proceso n° 1 (Excavación masiva) con una calificación promedio de 4.43, y del cual se puede inferir que este proceso influye sensiblemente en el

plazo. Es decir, una variación en este proceso determinaría que el plazo de ejecución total se acorte o se alargue considerablemente.

Por otro lado el proceso nº 5 (Perfilado manual), con una calificación de 3.78, no afectaría considerablemente al plazo total de la ejecución del método. Es decir, una variación en estos procesos no determinaría un cambio significativo del plazo de ejecución total del método de Calzaduras.

**Gráfica 3.9: Análisis del método de Calzaduras según Plazo**



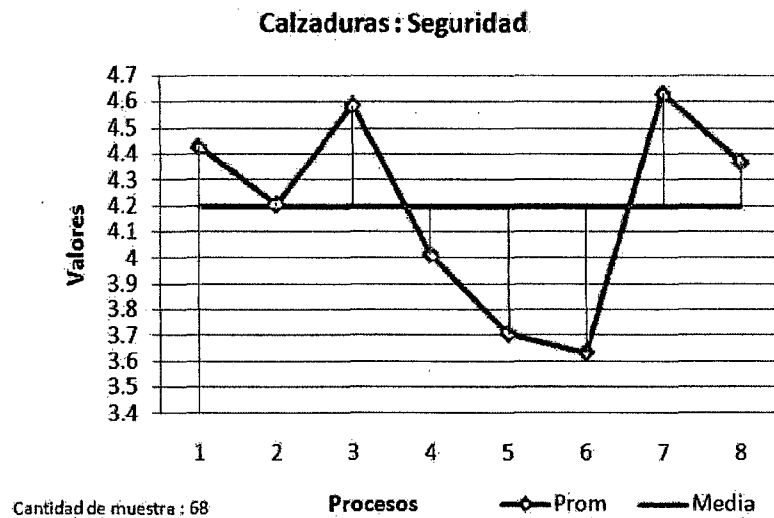
- 1 Excavación masiva (cargador frontal, volquetes, excavadora)
- 2 Excavación localizada (retroexcavadora, minicargador)
- 3 Apuntalamiento de talud
- 4 Encofrado de calzada
- 5 Perfilado manual
- 6 Fabricación y vaciado de concreto
- 7 Evaluación de zona de derrumbes

## b) Seguridad

En la Gráfica 3.10, se aprecia que el proceso con calificación más alta es el nº 7 (Excavación masiva) con un puntaje de 4.63 según la escala de Likert asociada. Es decir, si es que en este proceso no se inspeccionan los puntos a verificar, las condiciones inseguras pueden no controlarse y es probable que exista riesgo de accidente.

El proceso con menor puntaje es el nº 6 (Desencofrado) con 3.63 puntos. Esto quiere decir que el proceso no necesitaría un mayor control pues los actos y condiciones inseguras son mínimos.

**Gráfica 3.10: Análisis del método de Calzaduras según Seguridad**



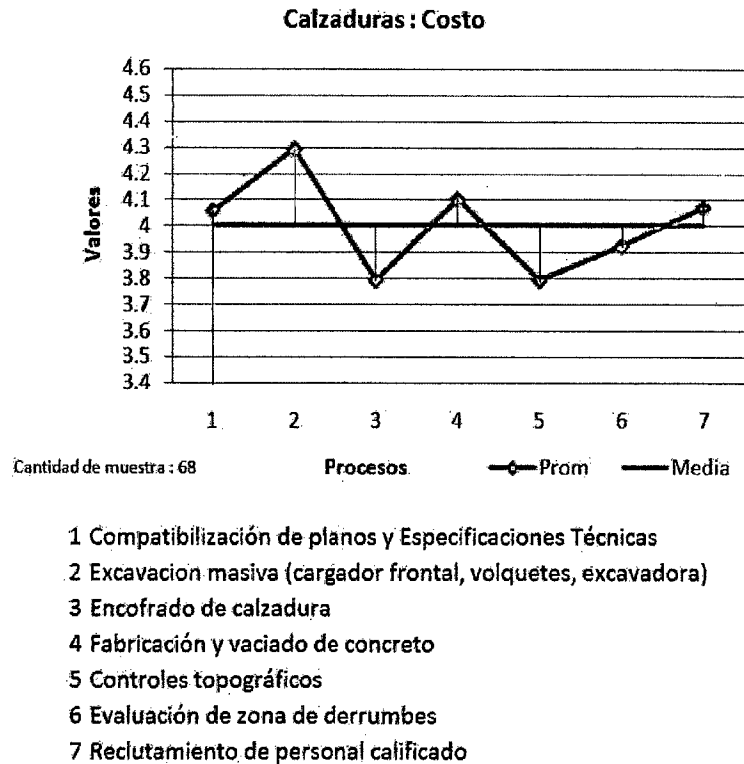
- 1 Excavacion masiva (cargador frontal, volquetes, excavadora)
- 2 Excavacion localizada (retroexcavadora, minicargador)
- 3 Apuntalamiento de talud
- 4 Encofrado de calzada
- 5 Fabricación y vaciado de concreto
- 6 Desencofrado
- 7 Evaluación de zona de derrumbes
- 8 Reclutamiento de personal calificado

### c) Costo

Analizando el método de Calzada bajo el criterio del costo, se puede observar en la Gráfica 3.11 que el proceso que más influye es el nº 2 (Excavación masiva), con una calificación de 4.29 puntos. Es decir, una variación (tiempo de ejecución, costo de mantenimiento, horas máquina stand by, etc.) en el proceso de excavación masiva implicaría un aumento o disminución del costo total de la ejecución de las Calzaduras.

Los procesos con menor calificación son el nº 3 y nº 5 (Encofrado de Calzadura y Controles topográficos respectivamente) ambos con 3.79 puntos. Esto quiere decir que una variación en el proceso de encofrado y/o controles topográficos no determinaría una variación considerable en el costo total de la ejecución de las Calzaduras.

**Gráfica 3.11: Análisis del método de Calzaduras según Costo**

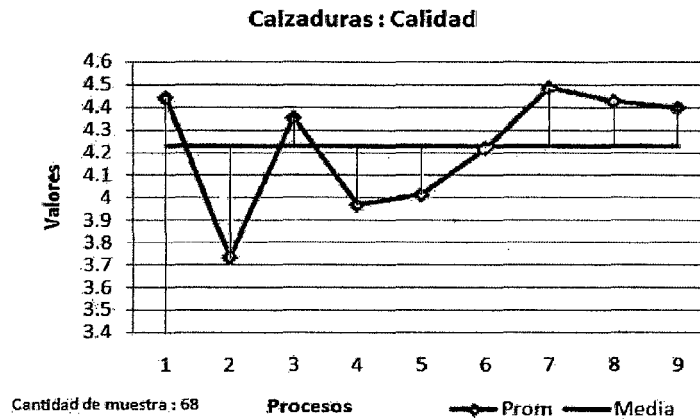


#### d) Calidad

En el caso de la Gráfica 3.12, el proceso con mayor calificación es el nº 07 (Controles topográficos) con 4.49 puntos. Es decir, una variación en la verificación de los controles topográficos implicaría una alta probabilidad de variación en la calidad final de la ejecución de las Calzaduras.

El proceso con menor puntaje es el nº 2 (Coordinación del vaciado del día) con 3.74 puntos. Es decir, una variación en el proceso no afectaría considerablemente en la calidad final de la ejecución de las Calzaduras.

**Gráfica 3.12: Análisis del método de Calzaduras según Calidad**



- 1 Compatibilización de planos y Especificaciones Técnicas
- 2 Coordinación del vaciado del día
- 3 Trazo topográfico
- 4 Excavacion localizada (retroexcavadora, minicargador)
- 5 Encofrado de calzaduras
- 6 Fabricación y vaciado de concreto
- 7 Controles topográficos
- 8 Evaluación de zona de derrumbes
- 9 Reclutamiento de personal calificado

### 3.6.3 Análisis comparativo de los métodos Muro Pantalla y Calzaduras según el número de procesos involucrados

A continuación se presentará una comparación de ambos métodos de acuerdo al número de los procesos involucrados, teniendo en cuenta los criterios de plazo, seguridad, costo y calidad en cada caso.

Este análisis se realizó teniendo en cuenta los procesos que se encuentran sobre y por debajo de la media de cada método, para luego dividirlos sobre el total de procesos que tienen cada uno.

El objetivo de este análisis es el de comparar porcentualmente ambos métodos teniendo una misma base, pues cada método difiere del otro por tener cada uno sus propios procesos.

a) Plazo

El criterio Plazo se refiere al tiempo que tomará el proyecto. En este sentido, se comparará ambos métodos para saber cuál de ellos tiene mayor porcentaje de procesos que influyen en la variación del plazo de ejecución.

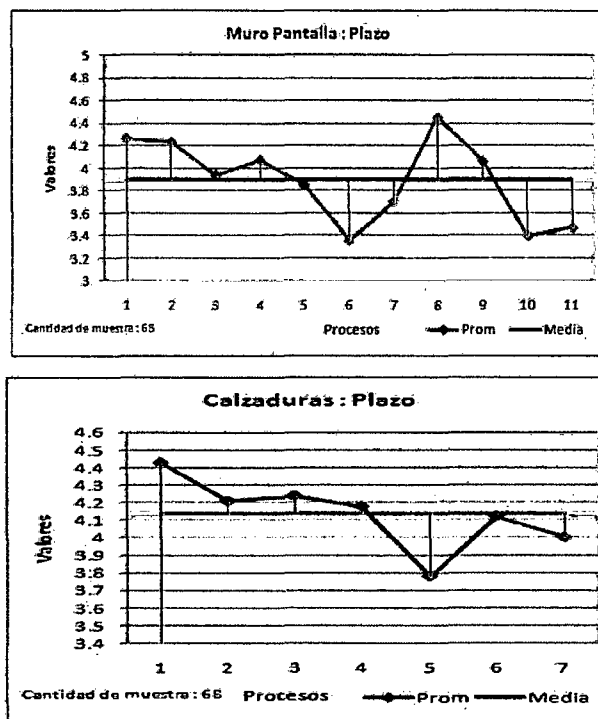
Se puede observar en el Cuadro 3.2 que, aunque exista una diferencia entre ambos métodos de 2% de procesos sobre la media, se puede decir que el método de Muro Pantalla tiene una menor probabilidad de que el plazo varíe en su ejecución.

**Cuadro 3.2: Comparación de los métodos Muro Pantalla y Calzadura bajo el criterio Plazo**

	Muro Pantalla	Calzadura
Nº total de procesos	11	7
Procesos sobre la media	6 (55%)	4 (57%)
Procesos bajo la media	5 (45%)	3 (43%)

En la Gráfica 3.13 se muestran las gráficas de ambos métodos, bajo el criterio plazo.

**Gráfica 3.13: Comparación de ambos métodos según Plazo**



**b) Seguridad**

El criterio Seguridad se refiere a la probabilidad de que ocurra alguna condición insegura o de riesgo dentro del proyecto.

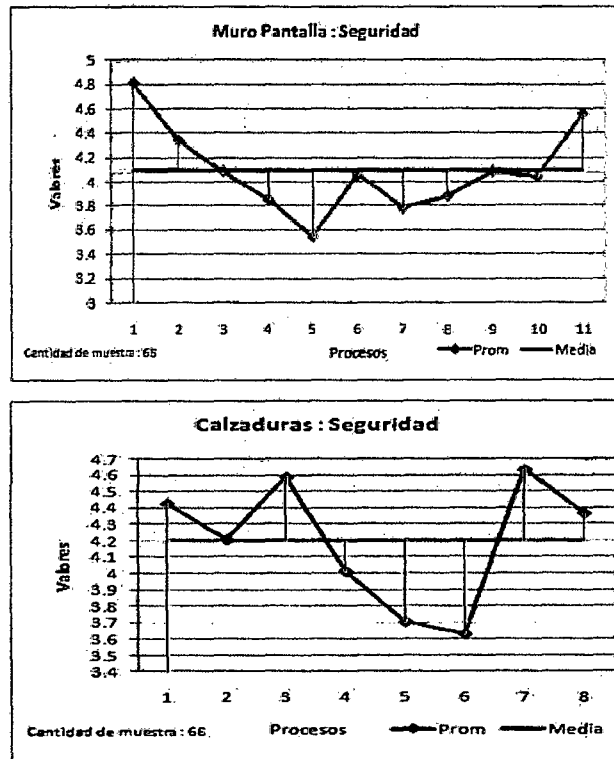
En el Cuadro 3.3, se comparó ambos métodos y se observa una diferencia del 35% entre Muro Pantalla y Calzadura. Es decir, que el método de Muro Pantalla tendría una menor probabilidad de que ocurra un accidente que el método de Calzadura.

**Cuadro 3.3: Comparación de los métodos Muro Pantalla y Calzadura bajo el criterio Seguridad**

	Muro Pantalla	Calzadura
N° total de procesos	11	8
Procesos sobre la media	3 (27%)	5 (62%)
Procesos bajo la media	8 (73%)	3 (38%)

En la Gráfica 3.14 se muestran las gráficas de ambos métodos, bajo el criterio Seguridad.

**Gráfica 3.14: Comparación de ambos métodos según Seguridad**





**c) Costo**

El criterio Costo se refiere al desembolso de recursos que implica el realizar la actividad. Se comparará ambos métodos para saber cuál de ellos tiene mayor porcentaje de procesos que influyen en la variación de su costo.

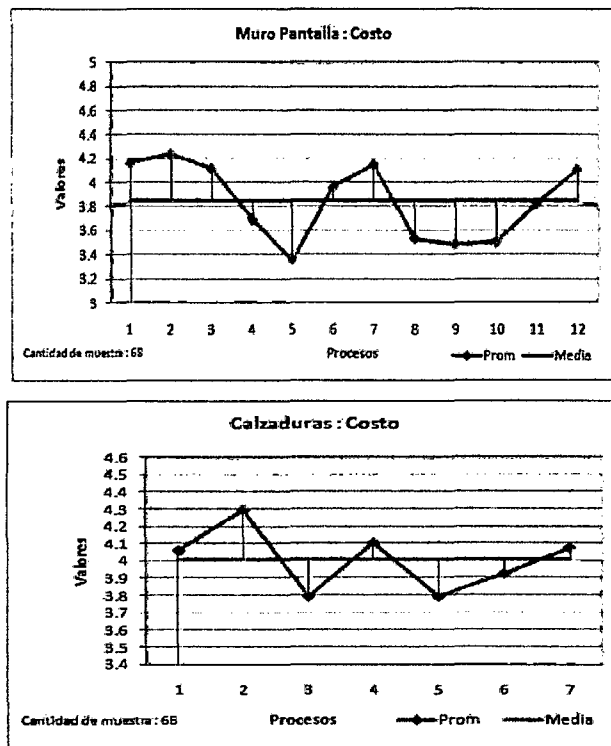
En el Cuadro 3.4, se puede observar que existe una diferencia entre ambos métodos de 7% de procesos sobre la media, se puede decir que el método de Muro Pantalla tiene una menor probabilidad de variación de sus costos con respecto al método de Calzadura.

**Cuadro 3.4: Comparación de los métodos Muro Pantalla y Calzadura bajo el criterio Costo**

	Muro Pantalla	Calzadura
N° total de procesos	12	7
Procesos sobre la media	6 (50%)	4 (57%)
Procesos bajo la media	6 (50%)	3 (43%)

En la Gráfica 3.15 se muestran las gráficas de ambos métodos, bajo el criterio Costo.

**Gráfica 3.15: Comparación de ambos métodos según Costo**



**d) Calidad**

El criterio de Calidad se refiere al cumplimiento de las especificaciones del diseño. En este sentido, se comparará ambos métodos para saber cuál de ellos tiene mayor porcentaje de procesos que influyen en la variación de su calidad.

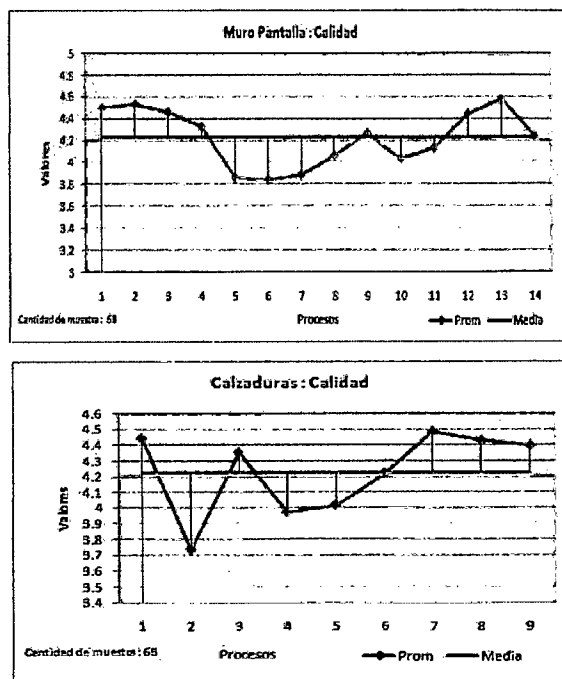
En el Cuadro 3.5 se puede observar que la diferencia entre ambos métodos es de 1%. Para efectos del análisis, se puede considerar que esta diferencia no es significativa. Por lo tanto, la calidad en ambos métodos tendrá un comportamiento similar.

**Cuadro 3.5: Comparación de los métodos Muro Pantalla y Calzadura bajo el criterio Calidad**

	Muro Pantalla	Calzadura
N° total de procesos	14	9
Procesos sobre la media	8 (57%)	5 (56%)
Procesos bajo la media	6 (43%)	4 (44%)

En la Gráfica 3.16 se muestran las gráficas de ambos métodos, bajo el criterio Calidad.

**Gráfica 3.16: Comparación de ambos métodos según Calidad**



A continuación, en el Cuadro 3.6 se presenta el resumen de los resultados obtenidos:

**Cuadro 3.6: Resumen de los resultados de los análisis.**

Proceso	Muro Pantalla	Calzadura
% de procesos críticos sobre la media – Criterio Plazo	55%	57%
% de procesos críticos sobre la media – Criterio Seguridad	27%	68%
% de procesos críticos sobre la media – Criterio Costo	50%	57%
% de procesos críticos sobre la media – Criterio Calidad	57%	56%
% de procesos críticos bajo la media – Criterio Plazo	45%	43%
% de procesos críticos bajo la media – Criterio Seguridad	73%	32%
% de procesos críticos bajo la media – Criterio Costo	50%	43%
% de procesos críticos bajo la media – Criterio Calidad	43%	44%
Proceso crítico superior frecuente		Excavación masiva
Proceso crítico inferior frecuente	Inyección de cemento para anclajes	
Proceso crítico encontrado en ambos procesos (Plazo)	Perfilado manual (Proceso crítico inferior)	

En el Cuadro 3.7 se muestran los procesos que fueron clasificados como procesos críticos que se encuentran por encima de la media y que pueden tener mayor influencia en la ejecución del proyecto.

**Cuadro 3.7: Resumen de procesos críticos por encima de la media**

	Muro Pantalla			Calzadura		
	Proceso Crítico	Media	Puntaje Escala Likert (escala del 1 al 5)	Proceso Crítico	Media	Puntaje Escala Likert (escala del 1 al 5)
<b>Plazo</b>	Vaciado de concreto	3.89	4.46	Excavación masiva	4.13	4.43
<b>Seguridad</b>	Verificación de estabilidad estructural antes del vaciado	4.09	4.81	Excavación masiva	4.19	4.63
<b>Costo</b>	Excavación masiva	3.84	4.24	Excavación masiva	4.00	4.29
<b>Calidad</b>	Reclutamiento del personal calificado	4.22	4.57	Controles topográficos	4.23	4.49

En el Cuadro 3.8 se muestran los procesos que fueron clasificados como procesos críticos que se encuentran por debajo de la media y que pueden tener menor influencia en el método.

**Cuadro 3.8: Resumen de procesos críticos por encima de la media**

	Muro Pantalla			Calzadura		
	Proceso Crítico	Media	Puntaje Escala Likert (escala del 1 al 5)	Proceso Crítico	Media	Puntaje Escala Likert (escala del 1 al 5)
<b>Plazo</b>	Perfilado manual y Plan de Mantenimiento de equipo y maquinaria.	3.89	3.5 y 3.4 (respectivamente)	Perfilado manual	4.13	3.78
<b>Seguridad</b>	Inyección de cemento para los anclajes	4.09	3.54	Desencofrado	4.19	3.63
<b>Costo</b>	Puntos de apoyo para el encofrado	3.84	3.54	Encofrado de Calzadura y Controles topográficos	4.00	3.79 (ambos)
<b>Calidad</b>	Inyección de cemento para los anclajes	4.22	3.84	Coordinación del vaciado del día	4.23	3.74

## CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis realizado se puede concluir lo siguiente:

- En cada método existen procesos que influyen significativamente en el desarrollo de su ejecución. Estos procesos han sido determinados al encontrarse por encima de la media. Igualmente dentro de este grupo existen procesos que fueron clasificados como procesos críticos, los cuales son los que obtuvieron la mayor calificación según la escala de Likert asociada. Una variación en estos procesos podría afectar considerablemente el método.
- En el método de Calzadura el proceso de Excavación masiva es el proceso crítico en la mayoría de los criterios evaluados (3 de 4). Es decir, es el proceso más importante y al que se le debe tener un mayor cuidado para que el proyecto no tenga problemas de plazo, seguridad, costo y calidad desde la etapa de excavación.
- El proceso de Excavación masiva es el proceso crítico en ambos métodos bajo el criterio de Costo.
- Los procesos que se encuentran por debajo de la media tienen una menor influencia en el método. Dentro de este grupo existen procesos que fueron clasificados como procesos críticos, los cuales son los que obtuvieron la menor calificación según la escala de Likert asociada. Una variación en estos procesos podría ser que no afecte al método.

- Los procesos críticos que se encuentran por encima de la media podrían llegar a tener una alta influencia en el método, por lo tanto se pueden asumir como las debilidades del método. Análogamente, los procesos críticos que se encuentran por debajo de la media podrían no influir en el proceso, a estos procesos se les puede asumir como las fortalezas del método.
- El método de Muro Pantalla presenta un porcentaje de procesos críticos por encima de la media menor comparado con el método de Calzaduras.
- El proceso "Inyección de cemento para anclajes" es el proceso crítico inferior que se presenta en dos criterios del método de Muro Pantalla lo que significaría que es uno de los procesos que no requieren una supervisión estricta.
- Tomando en cuenta el análisis de los métodos según el número de procesos involucrados, se puede concluir que el método de Muro Pantalla presenta menor número de criterios con probabilidad de ocurrencia de procesos críticos altos, es decir, menos probabilidad de alteraciones comparado con el método de Calzaduras. Lo que lo haría más fiable para la ejecución de una obra o proyecto de envergadura, tales como: Hotel Westin Libertador, Hotel Novotel, Edificio Real10, Edificios del Centro Empresarial de San Isidro, Edificio Santo Toribio, entre otros, todos ubicados en el Distrito de San Isidro, Lima.

## RECOMENDACIONES

De acuerdo al análisis realizado se puede recomendar lo siguiente:

- A fin de evitar que el proyecto varíe de forma inesperada y perjudicial, se debe tener cuidado en la ejecución de todos los procesos, especialmente en los que están encima de la media.
- Para poder reducir las debilidades del método Muro Pantalla se recomienda tener en cuenta lo siguiente:
  - o En cuanto al enfoque sobre el plazo: coordinar con anticipación los trabajos de vaciado de concreto, programar con el subcontratista de suministro de concreto y verificar las demás actividades que indirectamente afectan al vaciado (permisos de horario de trabajo extendido, correcta colocación del encofrado, etc.).
  - o En cuanto al enfoque sobre la seguridad: se debe realizar un checklist verificando las estructuras vecinas y el estado de las mismas antes del inicio de los trabajos. Previamente a realizar cualquier vaciado de concreto, se debe tener en cuenta este checklist para así evitar problemas estructurales imprevistos o exponer la vida de los trabajadores.
  - o En cuanto al enfoque sobre el costo: se recomienda realizar una topografía previa inicial y encontrar el volumen de excavación para poder realizar una programación de excavación y determinar con mayor precisión la cantidad de maquinaria pesada que se necesitará y en qué momento se prescindirá de ella. El no

- controlar las horas máquina podría llegar a aumentar el presupuesto inicial previsto.
- En cuanto al enfoque sobre la calidad: es muy importante contar con personal que haya tenido experiencia en la ejecución del método. El no tener personal calificado en dicho método puede traer consigo un producto final con la calidad no exigida y que podría conllevar a rehacer el trabajo, tener accidentes o deficiencias en obra.
- Para poder reducir las debilidades del método Calzaduras se recomienda tener en cuenta lo siguiente:
- En cuanto al plazo: se recomienda realizar un buen control de la programación de excavación para cumplir con los plazos previstos. También es recomendable programar y realizar el mantenimiento periódico a los equipos debido a que son los principales recursos que marcarán el ritmo del proyecto en la etapa de excavación del mismo.
  - En cuanto a la seguridad: realizar un checklist, el cual se debe aplicar desde el momento de las maniobras de excavación con maquinaria pesada. Por ejemplo, verificación de alarma de retroceso, existencia de señaleros, uniformes reflectivos, etc.
  - En cuanto al costo: se recomienda realizar una topografía previa y encontrar el volumen de excavación para poder realizar una programación de excavación y determinar con mayor precisión la cantidad de maquinaria pesada que se necesitará y en qué momento se prescindirá de ella. El no controlar las horas máquina podría llegar a aumentar el presupuesto inicial previsto y una variación en el plazo de la ejecución.



- o En cuanto a la calidad: se recomienda realizar continuos controles topográficos, con equipos debidamente calibrados, verificando siempre que los ejes y las dimensiones del proyecto se encuentren tal y como se especifique en el plano.
- En general, se recomienda utilizar de preferencia el método de Muro Pantalla debido a que se encontró que dentro de este método existe menos probabilidad de variación de los procesos analizados, y por ende la variabilidad del método es mejor controlada que la del método de Calzadura (con base en el análisis de los métodos según el número de procesos involucrados). (Ver Cuadro 5.1).

**Cuadro 5.1: Resumen de variaciones entre métodos de excavaciones profundas.**

<b>% procesos sobre la media</b>	<b>Muro Pantalla</b>	<b>Calzadura</b>
<b>Plazo</b>	55%	57%
<b>Seguridad</b>	27%	62%
<b>Costo</b>	50%	57%
<b>Calidad (*)</b>	57%	56%

(\*) Se puede considerar que esta diferencia no es significativa. Por lo tanto, la calidad en ambos métodos tendrá un comportamiento variable similar.

- Teniendo en cuenta que el análisis de este estudio se basó en el método Delphi, se puede utilizar esta investigación como referente para futuros estudios o temas de investigación de prospectiva en los métodos de estabilización estudiados.

## BIBLIOGRAFIA / REFERENCIAS

### Libros

- [ 1 ] Ávila Baray Héctor Luis. *Introducción a la Metodología de la Investigación*. , 2006. Edición Electrónica. México.
- [ 2 ] Braja M. Das, Thomson. *Principios de Ingeniería de Cimentaciones*. 1999. Editores. México.
- [ 3 ] Gallegos, Ríos, Casabonne, Uccelli e Icochea. *Manual de Estructuras*. 1979. Editorial Universo. Lima.
- [ 4 ] GyM – División de Edificaciones. *Sistema de Gestión de Calidad del edificio "Capital"*. 2008. Perú.
- [ 5 ] Perez, María Celeste. *Anclajes y Sistemas de Anclajes*. 2004. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional. Buenos Aires.
- [ 6 ] Pilotes Terrates. *Proyecto de Entibación mediante anclajes postensados temporales de la obra: Edificio Santo Toribio*. 2007. Perú.
- [ 7 ] Ministerio de Viviendo, Construcción y Saneamiento. *Reglamento Nacional de Edificaciones*. 2006. Perú.

### Revistas

- [ 8 ] Maggiolo, Oscar (Perú, 1996). Artículo "Diseño y Construcción de Calzaduras". En Revista "Ingeniería Civil". Editorial: Colegios de Ingenieros del Perú.
- [ 9 ] Coll, Jorge (Perú, 1996). Artículo "Muros –Pantalla de Concreto Armado: Solución alternativa para excavaciones profundas en la ciudad de Lima" En Revista "Ingeniería Civil". Editorial: Colegios de Ingenieros del Perú.

[ 10 ] Casabonne, Carlos (Perú, 1996.). Artículo "Calzaduras en el suelo de Lima". En Revista El Ingeniero Civil. Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú.

### Tesis

[ 11 ] Rivera, Fabián. Calzaduras. Título profesional, 1997. UNI – Lima.

[ 12 ] Chávez, Raúl. Diseño y Construcción de Calzaduras. Título profesional, 2010. UNI – Lima.

### Páginas Web

[ 13 ] Osorio, Ricardo. Apuntes El Cuestionario [acceso 04 de setiembre de 2008] Disponible en:

<http://www.nodo50.org/sindpitagoras/Likert.htm>

[ 14 ] Izquierdo, Pascual, Romero, Gómez. *El Método Delphi* Madrid, Universidad Autónoma de Madrid [acceso 10 de agosto de 2008] Disponible en:

[http://www.uam.es/personal\\_pdi/economicas/rmc/prevision/pdf/DELPHI.ppt](http://www.uam.es/personal_pdi/economicas/rmc/prevision/pdf/DELPHI.ppt)

[ 15 ] CONSTRUMATICA. Elementos de Excavación, España [acceso 17 de octubre de 2008] Disponible en

[http://www.construmatica.com/construpedia/Elementos de Contenci%C3%B3n](http://www.construmatica.com/construpedia/Elementos_de_Contenci%C3%B3n)

[ 16 ] Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (Perú, 2003) Manual de Diseño de Puentes: Apéndice C. [acceso 17 de setiembre de 2008]. Disponible en:

[http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos\\_ferro/manual/Puentes2003/Manual%20de%20Dise%C3%B1o%20de%20Puentes%202003.pdf](http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/Puentes2003/Manual%20de%20Dise%C3%B1o%20de%20Puentes%202003.pdf)

[ 17 ] Pardo, Guillermo (Chile, Universidad Central, 2008). Muros Pantalla, una alternativa para pensar. [acceso 10 de agosto de 2008]. Disponible en:

[http://grupos.emagister.com/documento/muros\\_de\\_pantalla/1167-25893](http://grupos.emagister.com/documento/muros_de_pantalla/1167-25893)

[ 18 ] López, Mauricio, Rivera, Danilo, Lainez, Osmar. (El Salvador, Universidad de El Salvador 2005) Pronóstico Delphi [acceso 24 de agosto de 2008].

Disponible en:

<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/pronostico-delphi/pronostico-delphi.pdf>

[ 19 ] Facultad de Lenguaje y Ciencia de la Comunicación de la Universidad de Málaga. Teoría de Conjuntos Difusos y Lógica Difusa [acceso 26 de agosto de 2008]. Disponible en:

Disponible en:

[www.lcc.uma.es/~eva/aic/apuntes/fuzzy.pdf](http://www.lcc.uma.es/~eva/aic/apuntes/fuzzy.pdf)

[ 20 ] Antivilo, Andrés (Chile, 2006) Teoría y Construcción de Pruebas Psicológicas [acceso 27 de agosto de 2008] Disponible en:

[http://1180.wikispaces.com/file/view/Escala\\_Likert.pdf](http://1180.wikispaces.com/file/view/Escala_Likert.pdf)

## **Anexo N° 01: Modelo de encuesta**

## ENCUESTA DE INVESTIGACION

### **“METODO DE ESTABILIZACION DE EXCAVACIONES PROFUNDAS EN LA CIUDAD DE LIMA: MURO PANTALLA”**

Conocimiento en algún método de excavación profunda: \_\_\_\_\_

Ultimo Grado de Estudio alcanzado: \_\_\_\_\_

Tiempo de Experiencia Profesional: \_\_\_\_\_

Tipo de Obra donde ejecutó el método Muros Pantalla y/o Calzaduras:

<u>Tipo de Obra</u>	<u>Cargo</u>
_____	_____
_____	_____
_____	_____

#### INSTRUCCIONES:

En los siguientes cuadros, marcar con un aspa las afirmaciones según usted esté de acuerdo siguiendo como patrón la leyenda que se encuentra a continuación.

#### LEYENDA:

A: Totalmente de acuerdo

B: De acuerdo

C: Indeciso

D: En desacuerdo

E: Totalmente en desacuerdo

# Mapa de procesos – Muro Pantalla

## Procesos de Gestión

Compatibilización  
de planos



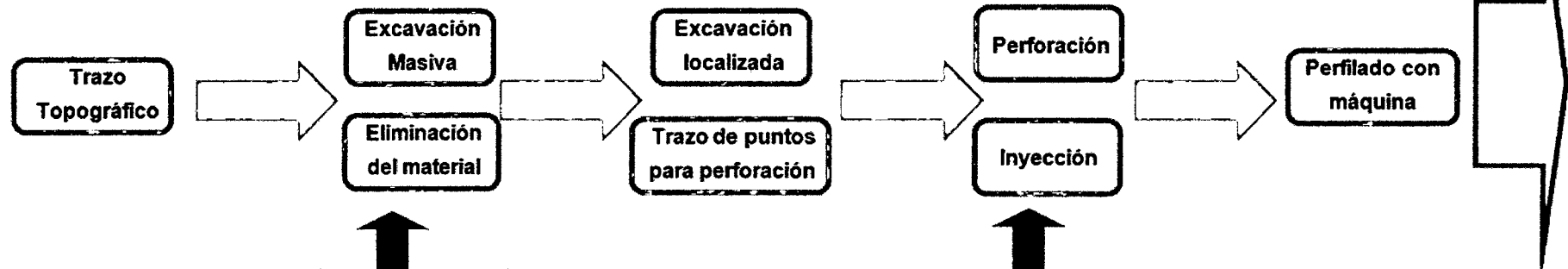
Cronograma  
General



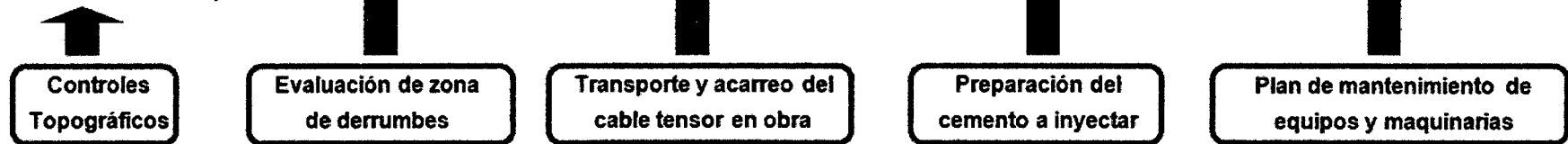
Plan Diario y  
Semanal



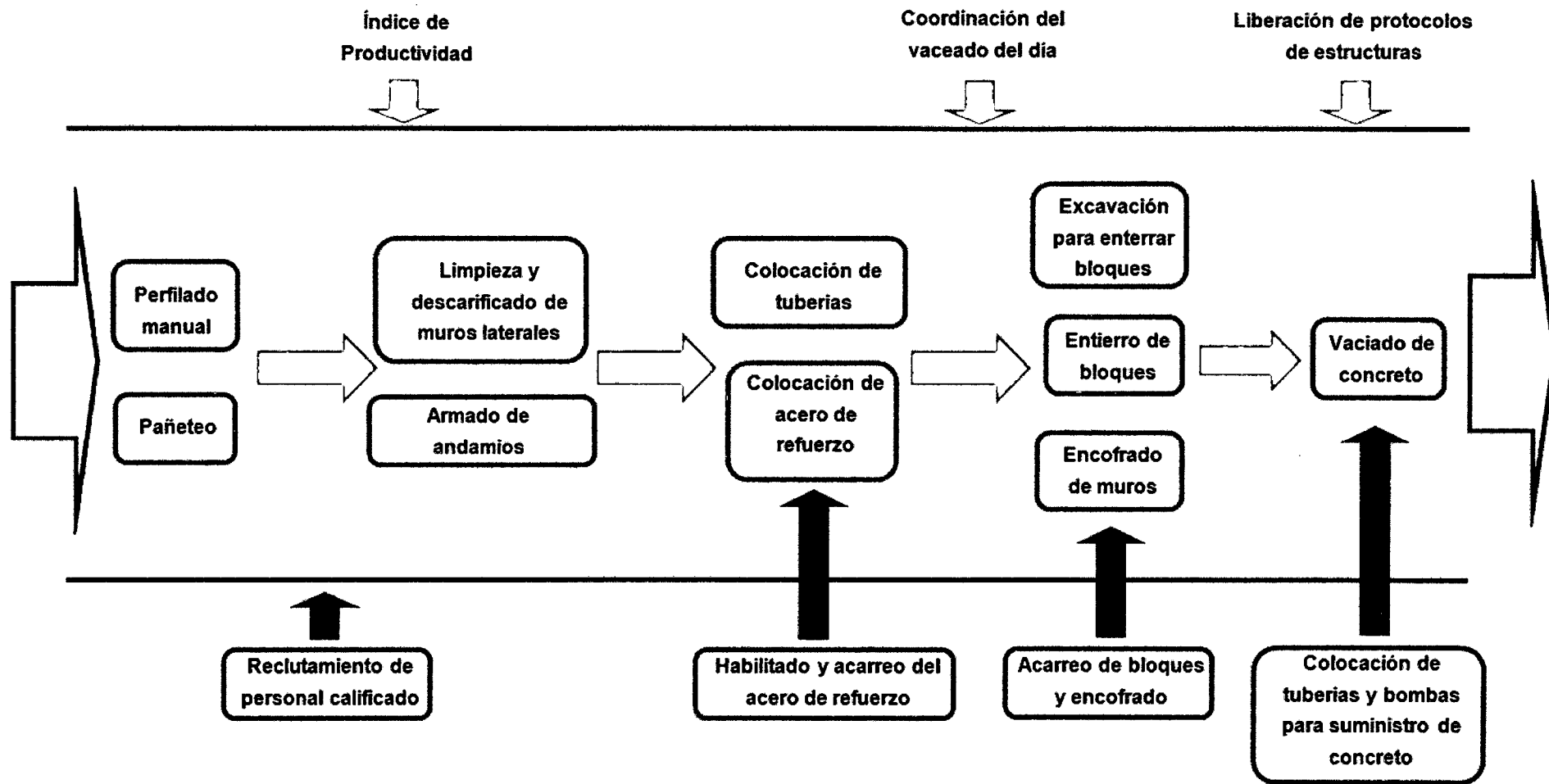
## Procesos Claves



## Procesos de Soporte

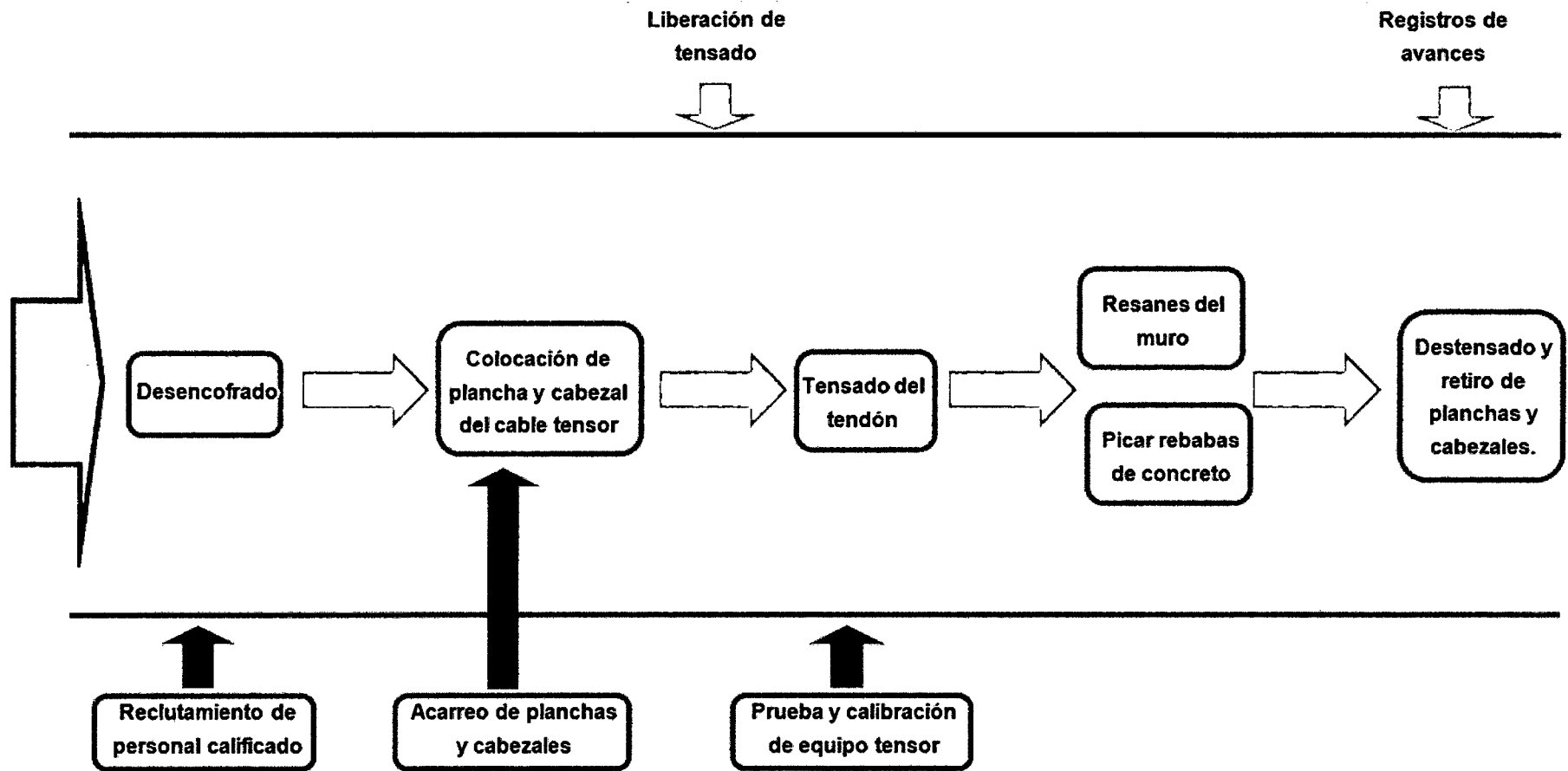


\* Mapa de Procesos hecho en base al Mapa de Procesos de Muro Pantalla del Sistema de Gestión de Calidad del edificio "Capital". GyM - División de Edificaciones.



\* Mapa de Procesos hecho en base al Mapa de Procesos de Muro Pantalla del Sistema de Gestión de Calidad del edificio "Capital". GyM - División de Edificaciones.

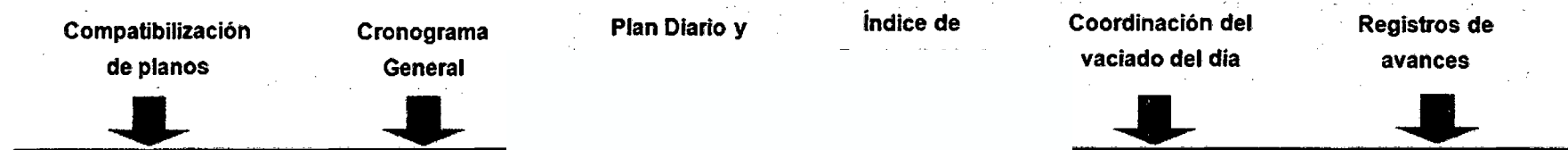




\* Mapa de Procesos hecho en base al Mapa de Procesos de Muro Pantalla del Sistema de Gestión de Calidad del edificio "Capital". GyM - División de Edificaciones.

# Mapa de procesos – Calzaduras

## Procesos de Gestión



## Procesos Claves



## Procesos de Soporte



Según el plazo de ejecución de la actividad del Muro Pantalla, las siguientes actividades influyen:

Ejem:

*Coordinación del vaciado del día (A): si está totalmente de acuerdo que la actividad determina el plazo si es que es alterada, ya sea adelanto o retraso.*

*Coordinación del vaciado del día (E): si está totalmente en desacuerdo que la actividad determina el plazo si es que es alterada, no influye en el plazo.*

	A	B	C	D	E
Coordinación del vaciado del día					
Excavación masiva (cargador frontal, volquetes, faja transportadora, excavadora)					
Excavación localizada (retroexcavadora, minicargador)					
Perforación del anclaje del Muro Pantalla					
Inyección del cemento para los anclajes					
Perfilado manual					
Puntos de apoyo para el encofrado (bloques de concreto)					
Vaciado de concreto					
Tensado del tendón del anclaje					
Plan de Mantenimiento de equipo y maquinaria					
Habilitado y acarreo del acero de refuerzo					
Otros. Especificar:					

Según la seguridad de la actividad del Muro Pantalla, las siguientes actividades influyen:

Ejem:

*Perfilado con máquina (A): si está totalmente de acuerdo que la actividad demanda una mayor atención al tema seguridad. Es muy riesgosa.*

*Perfilado con máquina (E): si está totalmente en desacuerdo que la actividad demanda una mayor atención al tema seguridad. No es muy riesgosa, se puede realizar sin mucho cuidado.*

	A	B	C	D	E
<b>Verificación de estabilidad estructural antes del vaciado</b> (entorno perimetral, inmuebles colindantes)					
<b>Excavación masiva</b> (cargador frontal, volquetes, faja transportadora, excavadora)					
<b>Excavación localizada</b> (retroexcavadora, minicargador)					
<b>Perforación del anclaje del Muro Pantalla</b>					
<b>Inyección del cemento para los anclajes</b>					
<b>Perfilado con máquina</b>					
<b>Puntos de apoyo para el encofrado</b> (bloques de concreto)					
<b>Vaciado de concreto de los muros</b>					
<b>Tensado del tendón</b>					
<b>Verificación de esfuerzos del cabezal antes del destensado</b>					
<b>Evaluación de la zona de derrumbes</b>					
<b>Otros. Especificar:</b>					

Según el costo de la actividad del Muro Pantalla, las siguientes actividades influyen:

Ejem:

*Desencofrado (A): si está totalmente de acuerdo que alguna variación de la actividad involucra altos costos. Es muy sensible con respecto al costo.*

*Desencofrado (E): si está totalmente en desacuerdo que la actividad es sensible al costo. Los costos no variarán a pesar de que la actividad sí.*

	A	B	C	D	E
Compatibilización de planos y Especificaciones Técnicas					
Excavación masiva (cargador frontal, volquetes, faja transportadora, excavadora)					
Perforación del anclaje del Muro Pantalla					
Inyección del cemento para los anclajes					
Puntos de apoyo para el encofrado (bloques de concreto)					
Encofrado de muros					
Vaciado de concreto de los muros					
Desencofrado					
Tensado del tendón					
Destensado y retiro de planchas del anclaje					
Plan de Mantenimiento de equipo y maquinaria					
Obras Provisionales, Equipos de Izaje ( Grúa Torre o móvil )					
Otros. Especificar:					

Según la calidad de la actividad del Muro Pantalla, las siguientes actividades influyen:

Ejem:

*Trazo topográfico (A): si está totalmente de acuerdo que la actividad es determinante en la calidad final del método.*

*Trazo topográfico (E): si está totalmente en desacuerdo que la actividad es determinante en la calidad final del método.*

	A	B	C	D	E
Compatibilización de planos y Especificaciones Técnicas					
Verificación de estabilidad estructural antes del vaciado (entorno perimetral, inmuebles colindantes)					
Trazo topográfico					
Trazo de puntos de perforación					
Perforación del anclaje del Muro Pantalla					
Inyección del cemento para los anclajes					
Perfilado con máquina					
Encofrado de muros					
Vaciado de concreto de los muros					
Tensado del tendón					
Verificación de esfuerzos del cabezal antes del destensado					
Controles topográficos ( verticalidad y horizontalidad )					
Reclutamiento del personal calificado (capacitación de obreros e ingenieros)					
Pruebas y calibración del equipo tensor					
Otros. Especificar:					

Según el plazo de ejecución de la actividad de Calzaduras, las siguientes actividades influyen:

	A	B	C	D	E
<b>Excavación masiva</b> (cargador frontal, volquetes, faja transportadora, excavadora)					
<b>Excavación localizada</b> (retroexcavadora, minicargador)					
<b>Apuntalamiento de talúd</b>					
<b>Encofrado de calzada</b>					
<b>Perfilado manual</b>					
<b>Fabricación y vaciado de concreto</b>					
<b>Evaluación de zona de derrumbes</b> (estado del terreno, edificaciones, vías e instalaciones vecinas)					
<b>Otros. Especificar:</b>					

Según la seguridad de la actividad de Calzaduras, las siguientes actividades influyen:

	A	B	C	D	E
<b>Excavación masiva</b> (cargador frontal, volquetes, faja transportadora, excavadora)					
<b>Excavación localizada</b> (retroexcavadora, minicargador)					
<b>Apuntalamiento de talud</b>					
<b>Encofrado de calzada</b>					
<b>Fabricación y vaciado de concreto</b>					
<b>Desencofrado</b>					
<b>Evaluación de zona de derrumbes</b> (estado del terreno, edificaciones, vías e instalaciones vecinas)					
<b>Reclutamiento de personal calificado</b> (capacitación de obreros e ingenieros)					
<b>Otros. Especificar:</b>					

Según el costo de la actividad de Calzaduras, las siguientes actividades influyen:

	A	B	C	D	E
Compatibilización de planos y Especificaciones Técnicas					
Excavación masiva (cargador frontal, volquetes, faja transportadora, excavadora)					
Encofrado de calzada					
Fabricación y vaciado de concreto					
Controles topográficos					
Evaluación de zona de derrumbes (estado del terreno, edificaciones, vías e instalaciones vecinas)					
Reclutamiento de personal calificado (capacitación de obreros e ingenieros)					
Otros. Especificar:					

Según la calidad de la actividad de Calzaduras, las siguientes actividades influyen:

	A	B	C	D	E
Compatibilización de planos y Especificaciones Técnicas					
Coordinación del vaciado del día					
Trazo topográfico					
Excavación localizada (retroexcavadora, minicargador)					
Encofrado de calzaduras					
Fabricación y vaciado de concreto					
Controles topográficos					
Evaluación de zona de derrumbes (estado del terreno, edificaciones, vías e instalaciones vecinas)					
Reclutamiento de personal calificado					
Otros. Especificar:					



## **Anexo N° 02: Cuadro de los valores atípicos (Zn)**