

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**ESTUDIO COMPARATIVO TÉCNICO ECONÓMICO DEL SISTEMA
MURO PANTALLA Y EL SISTEMA DE CALZADURAS**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

CAYETANO WILDER CABANILLAS TORRES

Lima- Perú

2014

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo con mucho amor a mi esposa Cecilia e hijos: Diego, Rodrigo y Sofía, quienes son la razón para cumplir con mis metas.

AGRADECIMIENTOS:

En primer lugar agradecer a Dios por iluminar mi camino y de manera especial agradecer infinitamente a quienes colaboraron con la revisión del trabajo como son : Mg. Ing. Jorge Gallardo, Dr. Jorge Olarte, Carlos Irala y el Ing. Manuel Correa, quienes en todo momento su enorme profesionalismo.

INDICE

	Pag.
RESUMEN	4
LISTA DE TABLAS	5
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	11
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES	15
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO DEL MURO PANTALLA	19
2.1 Introducción	19
2.2 Descripción del sistema de muro pantalla	19
2.2.1 Anclajes tensados	20
2.2.2 Elementos de refuerzos	20
2.2.3 Clasificación de anclajes	20
2.2.4 Tipos de anclajes	21
2.2.5 Partes principales de un anclaje	23
2.2.6 Consideraciones básicas para el diseño de un anclaje	25
2.2.7 Ubicación de anclajes	25
2.3 Construcción del muro pantalla anclada como elemento de concreto armado	26
2.4 Materiales utilizados en el sistema de muro pantalla	29
2.5 Equipos y herramientas utilizados en el sistema de muro pantalla (anclados)	30
2.6 Metodología de trabajo	31
2.6.1 Perforación	32
2.6.2 Inyección	32
2.6.3 Tensado	33
2.7 Secuencia de colocación del anclaje, posterior tensado y construcción de los dos niveles del muro pantalla	33
2.8 Proceso constructivo del sistema de muro pantalla	35

2.9 Resumen	37
CAPÍTULO III: FUNDAMENTO TEÓRICO DE LAS CALZADURAS	38
3.1 Introducción	38
3.2 Descripción del sistema de calzaduras	38
3.3 Materiales utilizados en el sistema de calzaduras	38
3.3.1 La mezcla de concreto	38
3.3.2 El encofrado	39
3.4 Precauciones en las calzaduras	39
3.5 Proceso constructivo del sistema de calzaduras	40
3.6 Resumen	43
CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN TÉCNICA DE UN MURO PANTALLA Y CALZADURA	44
4.1 Diseño del anclaje para el muro pantalla	44
4.1.1 Parámetros geotécnicos-geológicos ineludibles	44
4.1.2 Modelo geomecánico y análisis de estabilidad	45
4.1.3 Diseño de los anclajes	48
4.2 Diseño de calzaduras	52
4.2.1 Alcances de la Norma Técnica en el diseño de calzaduras	52
4.2.2 Parámetro de diseño de calzaduras	54
4.2.3 Descripción del diseño de calzaduras	55
4.2.4 Suelos con cohesión	59
4.2.5 Suelos sin cohesión	65
4.3 Resumen	89
CAPÍTULO V: COMPARACIÓN ECONÓMICA DE UN MURO PANTALLA Y LA CALZADURA	90
5.1 Considerando sótano y medio para el análisis económico en el sistema de calzaduras	90
5.2 Considerando sótano y medio para el análisis económico en el sistema de muro pantalla	93
5.3 Resumen	100

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
6.1 Conclusiones	101
6.2 Recomendaciones	102
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

RESUMEN

En el Informe de Suficiencia se ha realizado un análisis comparativo técnico y económico entre dos sistemas utilizados para la estabilidad de taludes, como el de muros pantallas anclados y calzaduras como sistema tradicional.

Dado que el estudio se ha realizado para un edificio que cuenta con sótano y semisótano, se eligió el lado derecho del terreno, ya que los otros lados se analizarían análogamente.

El análisis de comparación se inicia teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el estudio de suelos, y luego elegir un sistema adecuado para la estabilidad del suelo y usarlos como datos para el diseño de los anclajes.

Después de una minuciosa investigación, se aplicó los fundamentos teóricos, la descripción, proceso constructivo, materiales, equipos y herramientas para cada sistema estructural.

Para poder obtener resultados seguros y confiables se ha procedido a una evaluación técnica a través del diseño, contando con sus respectivos parámetros.

Por otro lado se ha realizado una comparación económica con sus respectivos análisis de precios unitarios por partidas y los costos totales para cada sistema de muro pantalla y calzaduras.

Una vez realizado el diseño y la construcción de la obra en cada sistema de estabilidad de taludes, se pudo concluir que existen marcadas diferencias en dos aspectos muy importantes como es el tiempo de ejecución y el costo en la construcción, cuyos resultados fueron los siguientes:

El sistema de calzaduras utiliza el **14.38%** más tiempo en ejecución de la obra y el **16.67%** más en costo económico, comparado obviamente con el muro pantalla.

Existe la posibilidad de accidentes laborales, en la etapa de excavación de calzaduras debido a la profundidad de la base que aumenta en cada tramo a medida que se construyen mayor cantidad de sótanos. Otros riesgos latentes es la aparición de fisuras y/o rajaduras en elementos estructurales y deslizamiento de terreno como el caso de la cuña de falla, en las construcciones colindantes con la obra. En cambio si se utiliza el sistema de muro pantalla existe la probabilidad de que se desprenda el talud vertical en el movimiento de tierras con la utilización de las maquinarias pesadas puestas en obra o una filtración de agua por el terreno vecino.

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla N°4.1	Valores geomecánico 45
Tabla N°4.2	Diseño de anclajes 52
Tabla N°4.3	Fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro para el tramo 1 67
Tabla N°4.4	Fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro para el tramo 2 67
Tabla N°4.5	Fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro para el tramo 3 68
Tabla N°4.6	Fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro para el tramo 4 69
Tabla N°4.7	Fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro para el tramo 5 70
Tabla N°4.8	Fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro para el tramo 6 71
Tabla N°4.9	Valores de fuerzas verticales, horizontales y Brazo de giro del tramo 1 73
Tabla N°4.10	Valores de fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro del tramo 2 76
Tabla N°4.11	Valores de fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro del tramo 3 78
Tabla N°4.12	Valores de fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro del tramo 4 80
Tabla N°4.13	Valores de fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro del tramo 5 82
Tabla N°4.14	Valores de fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro del tramo 6 (H = 1.50 m) 84

Tabla N°4.15	Valores de fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro del tramo 6 (H = 0.80m)	86
Tabla N°4.16	Factores de capacidad de carga	88
Tabla N°5.1	Análisis de precios unitarios de calzada	91
Tabla N°5.2	Precios unitarios por partida de calzada	92
Tabla N°5.3	Costo total de calzaduras	93
Tabla N°5.4	Cantidades y precios de anclajes de muro pantalla anclada	95
Tabla N°5.5	Partidas adicionales en el muro pantalla anclado	96
Tabla N°5.6	Resultados obtenidos en el análisis comparativo económico de cada sistema utilizado	96
Tabla N°5.7	Resultados obtenidos en el análisis comparativo de planeamiento en la ejecución para cada sistema utilizado	96

LISTA DE FIGURAS		Pág.
Figura 1.1	Accidentes en la construcción de calzaduras	16
Figura 1.2	Filtración de agua en el proceso de excavación	17
Figura 1.3	Eliminación de agua con bomba	17
Figura 1.4	Desborde de agua de un río a la obra	18
Figura 1.5	Inundación de agua del río en la excavación de la obra	18
Figura 2.1	Empalme de acero en muro pantalla	19
Figura 2.2	Sistema de muro anclado	24
Figura 2.3	Detalle longitudinal de un anclaje	25
Figura 2.4	Modelo de un muro anclado	26
Figura 2.5	Modelo de una losa de 4 paños de muro anclados	27
Figura 2.6	Detalle típico del refuerzo adicional en la cara del muro en contacto con la tierra	29
Figura 2.7	Casing de 4"	30
Figura 2.8	Máquina perforadora con oruga de 6 cilindros para 300m de perforación.	30
Figura 2.9	Compresora de aire de 10 a 12 bares de presión efectiva.	30
Figura 2.10	Mini planta: Mezcladora, agitador y bomba de inyección.	30
Figura 2.11	Tubería plástica flexible de diámetro 5/8"	30
Figura 2.12	Cable de acero de 7 hilos ($d = 5/8"$) y separador de caucho	30
Figura 2.13	Montaje de anclaje	31
Figura 2.14	Perforación de terreno en el punto de anclaje	32
Figura 2.15	Secuencia de excavación, anclaje y construcción de muro pantalla anclada	34

Figura 2.16	Trazado y definición del punto de perforación	35
Figura 2.17	Se arma el casing con su respectivo taladro	35
Figura 2.18	Colocación de espuma líquida y lubricante para limpiar el taladro	35
Figura 2.19	Posicionamiento de máquina perforadora	35
Figura 2.20	Medición del ángulo de inclinación de la perforadora	35
Figura 2.21	Momento de perforación en el punto de anclaje	35
Figura 2.22	Se introduce el cable de acero-anclaje	35
Figura 2.23	Colocación de boquilla para la inyección	36
Figura 2.24	Instalación de la manguera para la inyección	36
Figura 2.25	Momento de inyección de lechada de cemento al anclaje	36
Figura 2.26	Excavación de la banqueta para la construcción del muro pantalla	36
Figura 2.27	Perfilado del talud vertical	36
Figura 2.28	Colocación de armadura para el muro pantalla en zona de refuerzo de anclaje	36
Figura 2.29	Encofrado de muro pantalla	36
Figura 2.30	Momento del vaciado de concreto premezclado con bomba en el muro pantalla	36
Figura 2.31	Colocación de platinas en el punto de anclaje	37
Figura 2.32	Colocación del cabezal sobre las platinas	37
Figura 2.33	Colocación del molde listo para el tensado	37
Figura 2.34	Instalación del gato hidráulico y la manguera del alta presión	37
Figura 2.35	Momento de medición de la elongación	37
Figura 2.36	Culminación del anclaje para posteriormente retirar el molde y corte del anclaje	37

Figura 3.1	Se muestra la banquetta, excavación de piques para las calzaduras	41
Figura 3.2	Excavación de calzaduras por debajo del cimiento vecino	41
Figura 3.3	Encofrado y preparación para vaciado de calzaduras	42
Figura 4.1	Método de Bishop simplificado por dovelas	46
Figura 4.1a	Método iterativo para calcular el factor de seguridad	47
Figura 4.2	Obtención del factor de seguridad con Slide	48
Figura 4.3	Empuje del suelo sobre la calzada	56
Figura 4.4	Distribución de fuerzas del suelo en el estado de reposo	56
Figura 4.5	Distribución de fuerzas del suelo en estado de reposo	57
Figura 4.6	Distribución de fuerzas en estado activo	58
Figura 4.7	Distribución de fuerzas del suelo en estado pasivo	59
Figura 4.8	Distribución de fuerzas de un suelo cohesivo en la calzada	60
Figura 4.9	Diagrama de fuerzas distribuida resultante en la calzada	60
Figura 4.10	Diagrama de fuerza distribuida total ejercida por el suelo	61
Figura 4.11	Diagrama de fuerzas distribuida total ejercida por la sobrecarga	61
Figura 4.12	Diagrama de fuerzas distribuida total ejercida por la cohesión	62
Figura 4.13	Diagrama resultante de fuerzas en un suelo cohesivo	62
Figura 4.14	Esquema de las fuerzas verticales que actúan sobre la calzada	63
Figura 4.15	Diagrama de fuerzas verticales que actúan sobre la calzada	63
Figura 4.16	Punto de giro	64

Figura 4.17	Distribución de fuerzas de un suelo sin cohesión en la calzada	65
Figura 4.18	Tramos de calzaduras para realizar el diseño	66
Figura 4.19	Distribución de fuerzas del primer tramo	66
Figura 4.20	Distribución de fuerzas del segundo tramo	67
Figura 4.21	Distribución de fuerzas del tercer tramo	68
Figura 4.22	Distribución de fuerzas del cuarto tramo	69
Figura 4.23	Distribución de fuerzas del quinto tramo	70
Figura 4.24	Distribución de fuerzas del sexto tramo	71
Figura 4.25	Plano de cimentación y secciones de calzaduras	72
Figura 4.26	Diagrama de presión del suelo sobre el primer tramo	75
Figura 4.27	Diseño final de calzaduras (sección 1-1)	86
Figura 4.28	Diseño final de calzaduras (sección 2-2)	88
Figura 5.1	Secciones transversales del diseño de calzaduras	93
Figura 5.2	Sección transversal del muro pantalla construido en dos tramos	94

LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

cm ²	: Centímetro cuadrado
m	: Metro
mm	: Milímetro
Kg	: Kilogramo
ton	: Tonelada
ppm	: Partes por millón
Aprox.	: Aproximadamente
S/.	: Nuevos Soles
3"	: Tres pulgadas
SUCS	: Sistema unificado de clasificación de suelos
KN/m ³	: Kilo newton por metro cúbico
KPa	: Kilo pascal
RE	: Relleno
GP	: Grava arenosa
g	: Aceleración de la gravedad
KN/m	: Kilo Newton por metro
γ	: Peso específico del suelo
Ys	: Peso unitario del suelo
Yc	: Peso unitario del concreto
t/m ²	: Tonelada por metro cuadrado
ΣFV	: Sumatoria de fuerzas verticales
	: Angulo de fricción
ω	: Contenido de humedad
c	: Cohesión

INTRODUCCIÓN

El estudio comparativo del sistema de muro pantalla y el sistema de calzaduras para el presente informe de suficiencia se aplicará en el proyecto de vivienda multifamiliar que describe la construcción de un edificio, que cuenta con sótano y medio, 04 pisos típicos con dos departamentos tipo flat por piso y 03 pisos más con cuatro departamentos tipo triplex, el cual está dotado de escaleras, ascensor, cámara de bombeo, cuarto de máquinas, ductos para instalaciones, sistema de red de gas natural, servicios como teléfono, tele cable, internet, intercomunicadores, portero eléctrico, etc.

DESCRIPCION DEL EDIFICIO

En el diseño del proyecto se tomó en cuenta el Reglamento Nacional de Edificaciones, El Título III de edificaciones y las Ordenanzas Municipales.

ESTRUCTURACIÓN

En el proyecto se ha considerado la solución del sistema estructural sismo-resistente mixto: Albañilería confinada, muros de concreto armado, pórticos de columnas y vigas conformando una estructura celular de concreto armado.

El esquema resistente de la estructura, tanto para cargas verticales derivadas de los techos y sus sobrecargas, y cargas horizontales debidas a fuerzas sísmicas, han sido consideradas en base a muros de concreto armado de 25 cm.

El proyecto estructural ha sido desarrollado sobre la base del Reglamento Nacional de Construcciones, considerando las normas vigentes de suelos y cimentaciones, cargas, diseño sismo resistente y concreto armado.

ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA

En el área de estudio se efectuaron 03 calicatas, explorándose hasta una profundidad de 7,00 m., medidos a partir del nivel de la vereda de ingreso.

El presente material en el nivel activo de cimentación, está conformado por una grava mal graduada con arena, tipo **GP** de compacidad densa, cuyos parámetros de resistencia obtenidos en laboratorio se dan en la tabla N°1:

- Ángulo de fricción interna, ϕ : 33,3°
- Cohesión, c (Kg/cm²): 0,00
- Densidad seca (gr/cm³): 1,75
- Contenido de humedad(%), ω 1,45

Se determinó la capacidad de carga admisible del terreno, de acuerdo a la cimentación propuesta y para diferentes profundidades y dimensiones:

PARÁMETROS DE RESISTENCIA

CALICATA	C-2
Profundidad (m)	7.40 - 8.00
Cohesión "c" (Kg/cm ²)	0.00
Angulo de fricción (ϕ°)	33.3°

Los asentamientos diferenciales a producirse, están dentro del rango tolerable recomendado para este tipo de estructuras, por lo tanto la construcción proyectada, considerando los resultados obtenidos, es posible.

Durante el proceso constructivo, en los sectores de excavaciones colindantes con construcciones y cuando aquellas queden por debajo de la cimentación existente, se recomienda la construcción de estructuras de sostenimiento, esto es, calzaduras, muros pantalla o similar debajo de la cimentación de las paredes vecinas, para evitar derrumbes debido a la naturaleza semicompacto de los estratos existentes, para tal efecto se podrá considerar los siguientes parámetros del suelo (GP):

- Peso Unitario 2.10 gr/cm³
- Ángulo de fricción, ϕ : 33.3°
- Cohesión (c): Kg/cm² Nula
- Coeficiente de empuje activo, K_a 0,29

CONTENIDO DE SALES

La agresión que ocasiona el suelo a la cimentación de la estructura, está en función de la presencia de elementos químicos que actúan sobre el concreto y el acero de refuerzo, causándole efectos nocivos, esta acción química ocurre en presencia de agua que pueda llegar a la cimentación.

Los elementos químicos a evaluar son los sulfatos por su acción química sobre el concreto del cimiento y las sales solubles totales por causar pérdida de resistencia por lixiviación. Es decir que se tendrá que analizar **la cantidad de sulfatos en el suelo** que reduce la resistencia mecánica debido a la pérdida de cohesión en la pasta de cemento, con la pérdida de adherencia entre la pasta y las partículas del agregado y **la cantidad de cloruros en el suelo** que penetran al hormigón y llegan al acero de la armadura ocasionando su deterioro.

CONTENIDO DE SALES

Calicata	Prof. (m)	VALORES OBTENIDOS				Agresión
		Cloruros		Sulfatos		
		(ppm)	(%)	(ppm)	(%)	
C-2	0.30- 8.00	28,94	0,002894	26,68	0,002668	LEVE

De acuerdo a los valores obtenidos anteriormente en el Cuadro N°2 se observan que estos valores se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles, por lo tanto se podrá usar **cemento portland Tipo I** en la preparación del concreto de los cimientos de la estructura.

CAPITULO I: ANTECEDENTES

Actualmente vivimos en el boom de la construcción, sobre todo en la ciudad de Lima - Perú, donde las empresas dedicadas a las edificaciones se ven en la necesidad de contar con uno o más sótanos, básicamente por tres motivos reales, por el **área limitada** del terreno, por los **parámetros de edificación** requeridos por las municipalidades de cada Distrito, quienes llegan a pedir hasta un estacionamiento por cada departamento y por brindar **comodidad y confort** a los usuarios de los departamentos.

Surge entonces la duda, cuando se tiene que elegir algún sistema de soporte lateral de taludes, cuando se ejecutan las excavaciones profundas, surgiendo las siguientes interrogantes:

¿Qué sistema de contención es mejor para la estabilidad del terreno vecino?

¿Cuál es más seguro contra los riesgos de construcción?

¿Cuál es el más económico?

¿Cuál es el que toma menos tiempo en su construcción?

Es por ello que nació la idea de comparar dos sistemas opcionales, que generalmente se utilizan en la construcción. La **primera opción** de soporte lateral para la cimentación de edificios, es el **sistema constructivo tradicional de calzaduras** con una antigüedad aproximada de 60 a 70 años.

Las calzaduras se han convertido con el tiempo en una solución para evitar la pérdida del área útil sobre todo en aquellas zonas urbanas donde se han construido edificios hasta de 5 sótanos, como es el caso del Hotel Marriot en el Distrito de Miraflores, el Banco Central de Reserva ubicada en la esquina de Javier Prado con la Av. Arequipa y en la actualidad se construyen edificios con más de 5 sótanos.

La ciudad de Lima, cuenta con gran cantidad de distritos que tienen un suelo compuestos por gravas con matriz de arenas, lo cual asegura una buena capacidad portante, donde se puede excavar sin complicaciones. El suelo de Lima es granular y no debiera tener cohesión. Sin embargo tiene una cohesión aparente, la cual facilita la construcción de calzaduras.

Pero sabemos que, para construir las calzaduras tenemos que invadir por debajo del cimiento en el terreno vecino y habría la posibilidad que se presenten daños

en las construcciones existentes y/o vereda, como se puede observar en la figura N°1.1 y llevarnos posteriormente a gastos adicionales y problemas legales.



Figura N°1.1.-Accidentes en la construcción de calzaduras

Fuente: www.tuteve.tv/noticia/actualidad/27627/2011-09-11-ATV

Entonces aparece **una segunda opción**, que es el sistema constructivo de **muro pantalla**, que es un caso especial de muro de contención que tienen anclajes laterales.

Según el ingeniero Antonio Blanco Blasco en el Perú, desde el inicio de los 90, se utiliza muros de concreto armado, que al inicio sirven como elementos de contención en la etapa de excavación, soportando los empujes del suelo mediante tensores y/o anclajes postensados. Este elemento de contención es el muro perimétrico del proyecto lo que no genera un costo adicional, dado que es un sistema más seguro y actualmente se ha generalizado en casi todos los edificios que tienen dos o más sótanos, sobre todo se aplicaría en terrenos de baja capacidad portante, dado que no sería fácil hacer una excavación para construir calzaduras tradicionales.

Por lo tanto, sería recomendable utilizar el sistema de muros verticales que son de concreto armado que resiste el empuje del suelo, donde el muro se construye

y luego se ancla con tensores en la masa del terreno del vecino conforme se avanza la excavación.

Es muy importante mencionar, que cuando se hagan perforaciones por debajo de la cimentación del suelo vecino, para inyectar anclajes, se tomen las precauciones debidas, como las presencia de cisternas, piscinas, pozos a tierra, jardines, riachuelos, ríos, etc. porque la presencia de humedad sería muy perjudicial para la estructura del muro pantalla anclado, como lo que sucedió en Dubai en 2007. Ver figuras N°1.2, 1.3, 1.4, 1.5.



Figura N°1.2.- Filtración de agua en el proceso de excavación



Figura N°1.3.- Eliminación de agua con bomba

Fuente de figuras.: <http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20110905-Muros%20anclados%20AB.pdf>



Figura N°1.4.- Desborde de agua de un río a la obra



Figura N°1.5.- Inundación de agua del río en la excavación de la obra

Fuente de figuras.: <http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20110905-Muros%20anclados%20AB.pdf>

CAPÍTULO II FUNDAMENTO TEÓRICO DEL MURO PANTALLA

2.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describirá el sistema de construcción del muro pantalla donde se requiere ejecutar el diseño de los anclajes, programa de perforaciones, suministro, instalación y tensado de anclajes para el sostenimiento de taludes en la excavación para un semisótano y sótanos en el área de implantación de un proyecto de edificación.

La información considerada son los planos y el estudio de suelos.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MURO PANTALLA

Los muros pantalla anclados son estructuras de carácter provisional que sirven para proteger a los edificios vecinos, frente a los empujes laterales de tierra que se producen cuando hay excavaciones. Posteriormente a la fase de excavación, se construye el edificio, con sus losas de techos, columnas y placas, momento en el que ya no se requiere de los anclajes colocados inicialmente, pues ahora la estructura del edificio es la que soporta los empujes.

El procedimiento constructivo de los muros excavados con anclajes consiste en realizar excavaciones parciales y construir paños independientes para luego proceder a tensar el paño. La construcción de los muros se realiza conforme progresa la excavación. Los anclajes presionan al muro contra el suelo lo que permite confinarlos evitando que éste se mueva.

Al terminar de construir una primera fila de muro se pasa a repetir el proceso en una segunda fila. Los paños son normalmente de 3 m de altura por 4 m o 5 m de largo con refuerzos verticales y horizontales que sobresalen hacia abajo y hacia los costados, aproximadamente 50 cm a 80 cm. de la fila inferior. Ver figura N°2.1



Figura 2.1.- Empalme de acero en muro pantalla

Fuente: http://www.asocem.org.pe/web/actual_nac/sist_stab.pdf

Cuando hay una edificación al costado con cimentaciones superficiales lo recomendable es hacer la primera fila del muro con longitudes de paños de hasta 2.5m. Esto se recomienda ya que la cimentación del edificio existente no se está calzando y puede desestabilizarse si se quita 5 m de terreno.

Los anclajes pueden ser temporales o permanentes. Los anclajes temporales trabajan hasta que son sustituidos por estructuras permanentes, en el caso de una excavación de varios sótanos, el sostenimiento temporal se realiza con anclajes, hasta que son sustituidos por las losas de entrepiso.

2.2.1 ANCLAJES TENSADOS

Como el tema de trabajo es el diseño y método ejecutivo de las Pantallas Ancladas, este capítulo abarcará, el elemento principal "El Anclaje", mostrando tipos de anclaje y sus aplicaciones en estructura de ingeniería.

2.2.2 ELEMENTOS DE REFUERZOS.

En la actualidad existen una gran diversidad de tipos y aplicaciones de elementos de esfuerzo, los cuales consisten en un conjunto de barras o cables de acero que son instalados y empotrados en el fondo de perforaciones ubicados en el terreno natural, usados para la estabilización de estructuras, estos elementos de esfuerzos pueden ser anclajes tensados, pernos de anclaje, pilotes, etc.

2.2.3 CLASIFICACION DE ANCLAJES

Los anclajes se clasifican en **anclajes pasivos** y anclajes activos, según sea su forma de trabajo. Los primeros se colocan sin tensión y entran a carga cuando la estructura está sometido a los empujes del terreno, por el contrario, a los anclajes activos se le aplica una tensión previa y determinada en el momento de su instalación. Nos limitaremos a estudiar los anclajes activos.

El anclaje activo (anclajes tensados), permite dar una resistencia a la tracción al terreno a estabilizar, aliviándose de esta manera las tensiones, que pudieran acumularse en el plano de falla logrando de esta manera el mejoramiento de la estabilidad del terreno.

El extremo del cable es introducido al terreno, mediante una perforación practicada en el macizo o terreno a estabilizar, estas perforaciones deben ser

forzosamente rectilíneas. El empotramiento debe ser tal que pueda ser capaz de soportar la carga de prueba y trabajo.

Los principios para la estabilización de estructuras mediante anclajes activos son:

- El equilibrio de las fuerzas y el control de las deformaciones, las que se logran por las transferencias de las cargas a través de estos elementos hacia estratos más estables que se encuentran en el fondo del terreno.
- Una distribución adecuada de los anclajes, las que mejoran la capacidad de soporte del terreno, de tal manera que estos puedan soportar la entrega de cargas con deformaciones aceptables.

2.2.4 TIPOS DE ANCLAJE.

Existen una gran variedad de tipos de anclaje, cuya clasificación se debe al tipo de armadura que utiliza, la forma de construir la zona de anclaje, la disposición del cabezal de anclaje, el sistema de protección contra la corrosión, la disposición del anclaje en el terreno, etc. Lo que usualmente se utiliza son cables de acero de alta resistencia y baja relajación. Los anclajes son fijados al suelo por mortero en la zona del bulbo, el anclaje aporta la fuerza estabilizadora y la trasmite al suelo.

En general los anclajes dependen:

Del Tipo de Cables

Anclajes constituidos por barras roscadas cuyo diámetro puede variar entre 5/8" a 1 5/8" (16 a 40 mm), teniendo una resistencia a la tracción del orden de 60 a 85 Kg/mm², se utilizan en forma individual o en grupos para constituir anclajes. Estos anclajes son de fácil operación en su montaje e instalación, debido a su corta longitud, pudiendo ser instalados por enganches.

Los anclajes de barras roscadas tienen las siguientes ventajas:

- Presenta gruesas rocas resistentes a las maniobras de operación.
- Se puede aplicar cortes en cualquier punto de su longitud sin pérdida de hendiduras en hilos de roscas.

- Se puede obtener grandes longitudes de adhesión con resina o inyección de cemento.
- Adaptables para varios casos de estabilidad de rocas.
- Las barras pueden ser instaladas por enganche de las rocas.

Anclaje de Tendones, los cuales consisten en varios hilos de acero de diámetros delgados que pueden variar entre 0.15" a 0.30" (4 a 8 mm), y excepcionalmente 0.45" (12 mm), teniendo una resistencia a la tracción de 160 a 190 Kg/mm², con un límite elástico convencional. Estos anclajes alcanzan a soportar altas cargas de tensión con respecto a anclajes de barras roscadas. Estos anclajes no están limitados en longitud, siendo excepcionalmente flexibles y de ese modo usado en aplicaciones sin restricción de espacio.

Del tiempo de servicio

Anclajes temporales, son los que proporcionan un vida de servicio menor de dos años, son usados como simple protector a la corrosión, dando estabilidad a la estructura.

Los anclajes permanentes, son los que proporcionan una vida de servicio mayor a dos años y trabajan durante toda la vida útil del proyecto, por lo que se dimensionará con mayores coeficientes de seguridad y los niveles de protección serán mayores.

Del nivel de agua y sus fluctuaciones

Cuando los anclajes trabajan con presencia de agua requieren de un sello especial de protección a la corrosión.

De la sedimentación del terreno y movimiento de la roca

Es imperioso aumentar o disminuir la tensión de los anclajes, cuando el terreno requiera de cambios de carga de tensión en los cables de anclajes de la estructura, utilizándose para este caso un sistema de anclaje de barras corrugadas.

Sobre su longitud libre

Hay dos tipos de anclajes, **la primera de adhesión libre**, donde el tendón del acero está libre para moverse en toda su longitud libre para todo su tiempo de servicio y la **segunda de adhesión de bloqueo**, donde la longitud libre es

adherido al terreno circundante mediante inyección posterior al tensado de los cables.

De la ubicación sobre el terreno de su longitud de adhesión

Anclajes en suelos cohesivos, generalmente se realizan post-inyección en repetidas veces para mejorar la unión entre el terreno y la longitud de adhesión.

Anclajes en suelo no cohesivos o rocas, solo se necesita una inyección primaria para alcanzar un excelente comportamiento en su longitud de adhesión.

Sobre su ángulo de inclinación con respecto a la horizontal

Anclajes verticales, son usados para absorber esfuerzos en la cimentación de estructuras.

Anclajes horizontales, son usados para arriostrar estructuras de contención, entibaciones, ataguías.

Anclajes inclinados, son usados para estabilizar los terrenos.

De la limitación de espacios

Si el terreno posee un **espacio limitado** es conveniente usar los **anclajes de barras** los que son ensamblados en toda su longitud por medio de enganches, pero si el terreno posee un **espacio sin limitaciones** es conveniente usar los **anclajes de torones** que son instalados en el interior de la perforación a través de carretes en los cuales se encuentran enrollados los cables.

Del tipo de empotramiento con el terreno

Los anclajes que trabajan por adhesión en su empotramiento, estos resisten los esfuerzos del tensionamiento del anclaje por la adhesión del material envolvente (lechada de cemento o resina) al terreno.

Los anclajes que trabajan por fricción en su empotramiento, resisten las cargas de tensionamiento por las cargas de fricción entre la roca y el anclaje.

2.2.5 PARTES PRINCIPALES DE UN ANCLAJE:

Técnicamente los anclajes se componen de los siguientes tramos principales:

Tramo anclado (Anclaje fijo), es la parte solidaria al terreno, denominado zona pasiva, es el tramo que es empotrado al terreno para absorber las cargas aplicadas desde el cabezal del anclaje y transferidas al terreno mismo. La

fijación del tramo anclado al terreno, es lograda a través de inyecciones de cemento las que denominaremos cuerpo de inyección creado por el fondo de perforación. El límite de capacidad de adhesión está determinado por la fricción conseguida en su longitud de adhesión.

Tramo libre, es la parte independizada del terreno, está situado entre el tramo anclado y el cabezal del anclaje y tiene la función de transferir la carga aplicada desde el cabezal al tramo anclado. Protegido por un tubo semi-rígido de chapa galvanizada o plástico que tiene como objetivo evitar fricción de los cables, permitiendo la deformación del acero con total libertad en el tramo libre, durante, la aplicación de la carga.

Cabezal de anclaje (Anclaje móvil) es la parte activa, zona de unión de los cables a la placa de apoyo, donde se aplica la carga que es transmitida al tramo anclado a través del tramo libre. La carga es aplicada con el uso de una gata hidráulica especial. La estructura del cabezal del anclaje, debe ser adecuada a las cargas aplicadas en las anclas.

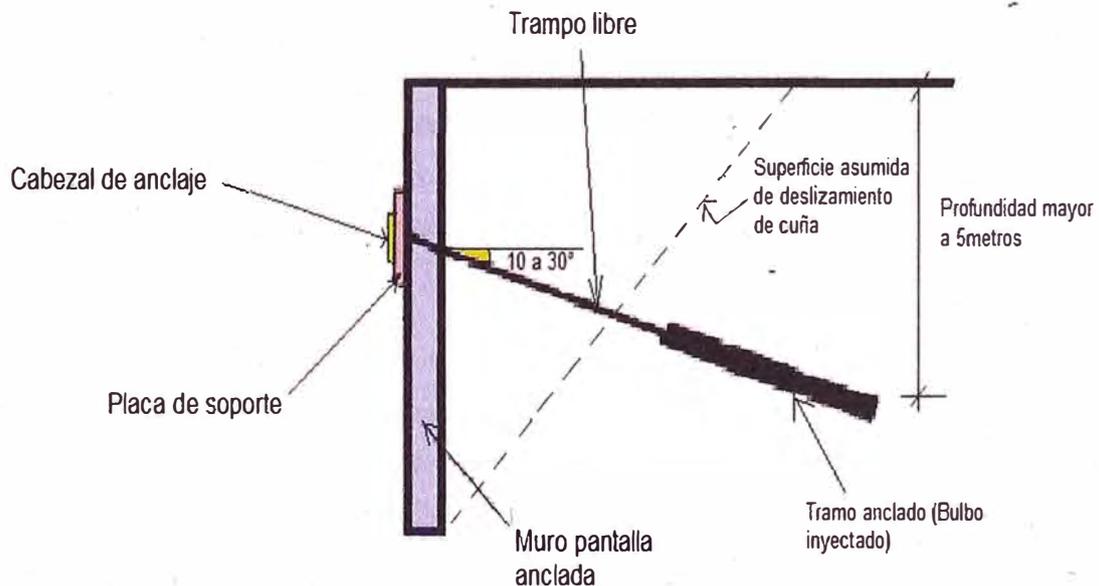


Figura N° 2.2.-Sistema de muro anclado

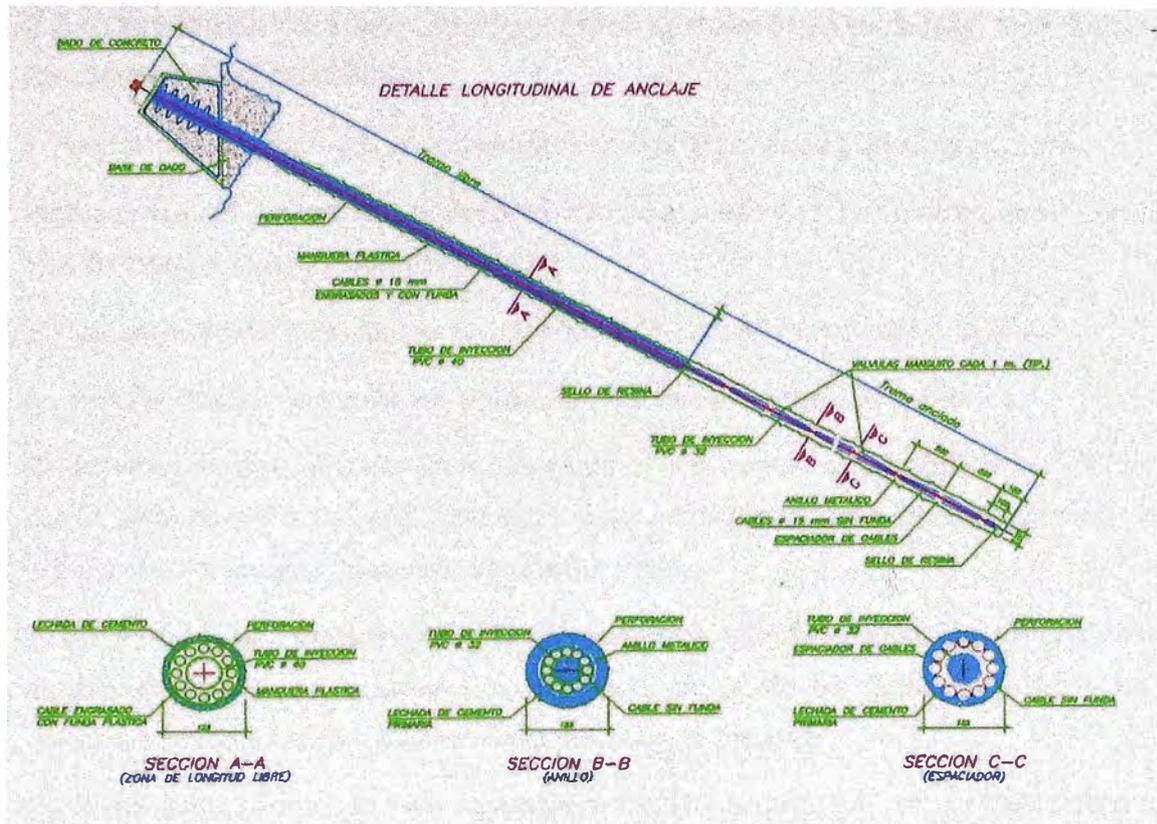


Figura. 2.3.- Detalle longitudinal de un anclaje

2.2.6 Consideraciones básicas para el diseño de un anclaje

Para que los anclajes no transfieran las tensiones de la zona del bulbo al muro de concreto, estos deben separarse una distancia mínima. Debido a que el anclaje aporta la fuerza estabilizadora y la trasmite al suelo se requiere que la fuerza se transmita mas allá de la zona activa.

2.2.7 Ubicación de anclajes.

Los cálculos para determinar la fuerza de anclaje son realizados por las empresas que se encargan de hacer los anclajes y de garantizar la estabilidad del muro. Estas empresas emiten un informe con las fuerzas de los anclajes, la longitud de los mismos y ubicación en planta y altura.

Cuando no se tiene un solo anclaje, sino varios, debido a excavaciones profundas de 4, 5, 6, 7 u 8 sótanos, se hacen cálculos aproximados considerando teorías parecidas a las usadas en muros entibados, calculando reacciones de las acciones del terreno. Estas reacciones son las fuerzas que deben tener los anclajes.

2.3 CONSTRUCCIÓN DEL MURO PANTALLA ANCLADA COMO ELEMENTO DE CONCRETO ARMADO

La construcción del muro se realiza por paños. El proceso de construcción implica que los paños de concreto actúen de diferentes formas desde el estado inicial hasta el estado final de servicio.

Se pueden definir tres etapas de diseño: la inicial, la intermedia y la final.

➤ **Etapla inicial: Cuando se aplica la fuerza de anclaje al paño**

En la etapa inicial, el paño está sometido a una fuerza que lo obliga a funcionar como una “zapata flexible”. Se dice que es un elemento flexible ya que los espesores de los muros son hasta de 50 cm.

Al ser el muro un elemento flexible, las presiones del terreno se concentran en la zona del anclaje. La presión de respuesta de suelo no tiene una distribución uniforme como se supone en el caso de zapatas rígidas.

Para estimar la forma de esta reacción del suelo, sobre el muro, se debe escoger un módulo de balasto del suelo. Generalmente se utiliza un programa de cómputo considerando una losa apoyada en resortes, sometida a la carga del anclaje distribuida en un área igual a la plancha del mismo.

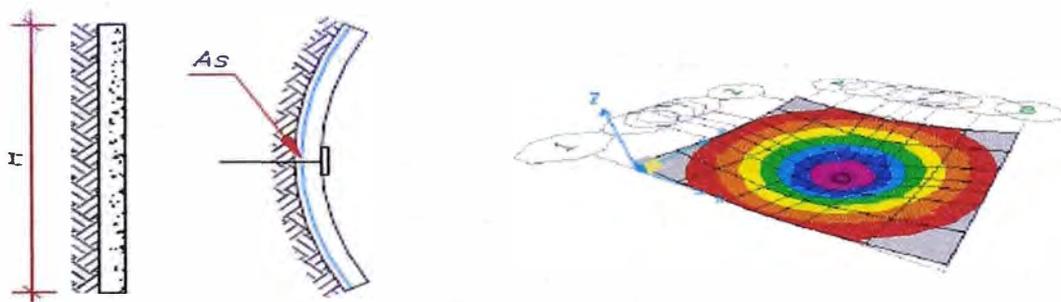


Figura 2.4.- Modelo de un muro anclado: de izquierda a derecha se ve un paño sin tensar, un paño tensado.

Fuente: [http://www.asocem.org.pe/web/ actual_nac/sist_stab.pdf](http://www.asocem.org.pe/web/actual_nac/sist_stab.pdf)

En esta etapa se hace el cálculo del refuerzo de la cara del muro adyacente al terreno. Una vez obtenida la presión variable actuando sobre el muro, el volado se diseña por flexión.

En esta etapa debe verificarse el punzonamiento que la plancha ejerce sobre el muro de concreto, generalmente las planchas tienen 30cm x 30cm. Para obtener la sección crítica por punzonamiento, se considera una sección ubicada a "d/2" de las caras de la plancha. Cuando los espesores de muro no pasan por punzonamiento, se recomienda incrementar la resistencia mínima del concreto al momento del tensado, las dimensiones de las planchas y/o el espesor del muro.

La verificación por punzonamiento puede gobernar la determinación del espesor del muro, dependiendo de la magnitud de las fuerzas de los anclajes.

La idea es no necesitar refuerzo de acero por cortante, sino solamente por flexión.

Los espesores recomendados para los muros anclados, construidos en un buen suelo, como el de Lima, y para alturas normales de piso a piso son de 30cm a más dependiendo de los cálculos del proyectista responsable.

➤ **Etapa intermedia: cuando se aplica la fuerza de anclaje al paño adyacente**

Luego de tensar el muro, se procede a tensar un paño cercano y luego el intermedio entre dos ya tensados.

El muro trabajará como una losa sin vigas. Durante la ejecución de la primera fila, se podrá considerar una losa sin vigas en una dirección, con una franja de columna más esforzada. Cuando se ejecute una segunda fila, trabajará como losa sin vigas, armada en dos direcciones, con franjas de columnas más reforzadas

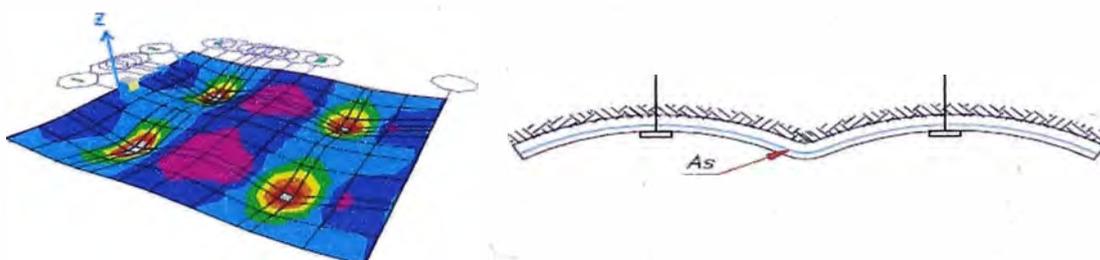


Figura N°2.5.- Modelo de una losa de 4 paños de muro anclados.

Fuente: http://www.asocem.org.pe/web/actual_nac/sist_stab.pdf

No es fácil en obra tener distintos aceros en zonas de franjas de columnas o zonas de franjas centrales, por lo que normalmente se uniformiza el diseño. Se debe recordar que la carga actuante se concentra en las zonas de los anclajes.

Para el cálculo de paños adyacentes, se encuentra el acero necesario en la cara exterior del muro.

➤ **Etapa final: cuando se construyen las losas de techos y liberan los anclajes**

El diseño del muro, luego de la colocación de los anclajes, se realiza considerando un muro con apoyos laterales (constituidos por los techos de los sótanos del edificio). Esta característica hace que no exista el problema del volteo y que ya no se tenga como fuerza actuante al empuje activo, sino el llamado empuje de los suelos en reposo K_0 . Por tanto, se asume que el diagrama de empuje del suelo toma una forma rectangular.

Debido a esta etapa, es probable que el diseño del refuerzo necesite un incremento en algunos bastones negativos y positivos.

Una forma de diseñar es disponer una malla de refuerzo para la cara en contacto con la tierra. Este refuerzo debe cumplir con el cálculo para la etapa inicial. El diseño del refuerzo vertical de la cara hacia el edificio se debe obtener verificando la etapa intermedia y la final.

Debido al empuje de la etapa final, por lo general, al refuerzo vertical, se le debe colocar bastones para controlar los momentos en los apoyos (losas) y para controlar los momentos que hay entre losa y losa.

El refuerzo horizontal de la cara hacia el edificio se obtiene de la etapa intermedia o usando el acero mínimo de muros.

Adicional a los refuerzos corridos y a los bastones obtenidos con el cálculo de la etapa final, también es usual colocar una malla de aproximadamente 2 m de lado, como refuerzo en la zona de anclajes. Esto permite reducir el acero de la malla de la cara en contacto con la tierra, calculado según la primera etapa.

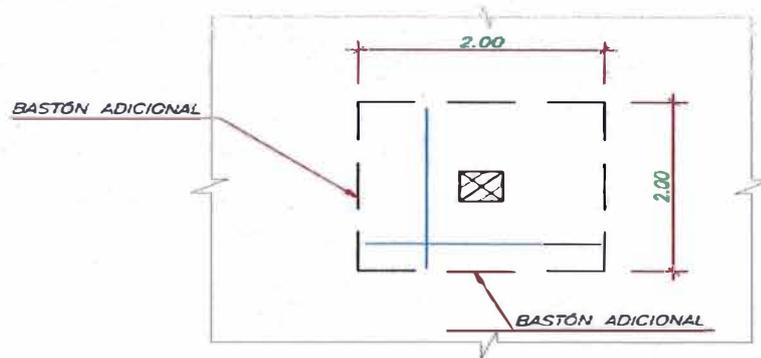


Figura N°2.6.- Detalle típico del refuerzo adicional en la cara del muro en contacto con la tierra

Fuente: http://www.asocem.org.pe/web/actual_nac/sist_stab.pdf

2.4 MATERIALES UTILIZADOS EN EL SISTEMA DE MURO PANTALLA

La mezcla de concreto

La conformación básica de la mezcla de concreto es: Cemento portland Tipo I, agregado grueso y agua.

En el caso de edificaciones construidas con este sistema, las mezclas sobre todo de los muros, deberían contener fibras de polipropileno para evitar las contracciones en el proceso de fragua.

El concreto en este sistema será premezclado, es decir preparado, dosificado y mezclado en planta de acuerdo con la norma ASTM C-94

Incluirá además aditivos para conferirle propiedades particulares como:

Sikadur 32 gel, puente de adherencia, cumpliendo normas ASTM C-881, ASTM D-695: Resistencia a la Compresión, ASTM C-580: Resistencia a la Flexión, ASTM C-882: Adherencia.

Sika 1, cumpliendo con la norma IRAM 1572, de este modo evitaríamos el deterioro al concreto del muro pantalla por causas de humedad del terreno adyacente probablemente por la existencia de jardines o filtraciones de agua, posiblemente de cisternas o desagües en proceso de deterioro.

El acero estructural

El acero es un material obtenido de fundación de altos hornos, para el refuerzo del concreto generalmente logrado bajo las normas ASTM A-615 y ASTM A-617

en base a su grado de fluencia: $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$, carga de rotura mínima de 5900 Kg/cm^2 , elongación de 20 cm, mínimo 8%.

2.5 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADOS EN EL SISTEMA DE MURO PANTALLA (ANCLADOS)



Figura N°2.7.-Casing de 4"



Figura N°2.8.-Máquina perforadora con oruga de 6 cilindros para 300m de perforación.



Figura N°2.9.-Compresora de aire de 10 a 12 bares de presión efectiva



Figura N°2.10.-Mini planta: Mezcladora, agitador y bomba de inyección

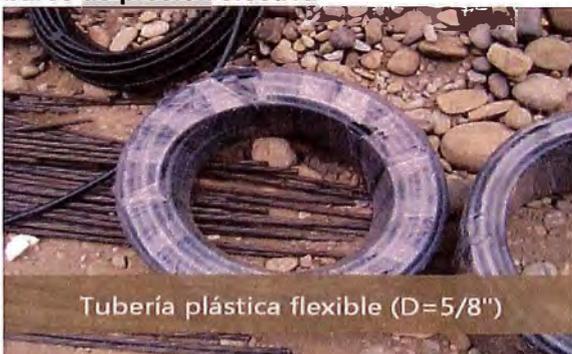


Figura N°2.11.-Tubería plástica flexible de diámetro 5/8"



Figura N°2.12.-Cable de acero de 7 hilos (d=5/8") y separador de caucho

Fuente de figuras N°2.11: www.youtube.com/watch?v=Z5BnWzblbjQ EDIFICA

2.6 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Los anclajes post-tensados son estructuras flexibles y lineales compuestos por varios cordones de acero de alta resistencia, los cuales se adhieren o fijan con cemento dentro de roca o suelo estable (pasan por el plano de falla). Los anclajes al tensarlos transmiten los esfuerzos desde el cabezal (extremo visible en la superficie del talud) hasta el tramo anclado, mitigando de esta forma los movimientos del talud.

La preparación de los anclajes será realizado sobre una plataforma provisional, para el montaje, primero se preparará el tubo de inyección de PVC clase 10, con diámetro de 1", donde se ejecutarán los agujeros para la inyección (válvula manguito). Luego, alrededor del tubo de inyección, se colocarán los cables de acero sobre separadores y cortados según la longitud definitiva del anclaje.

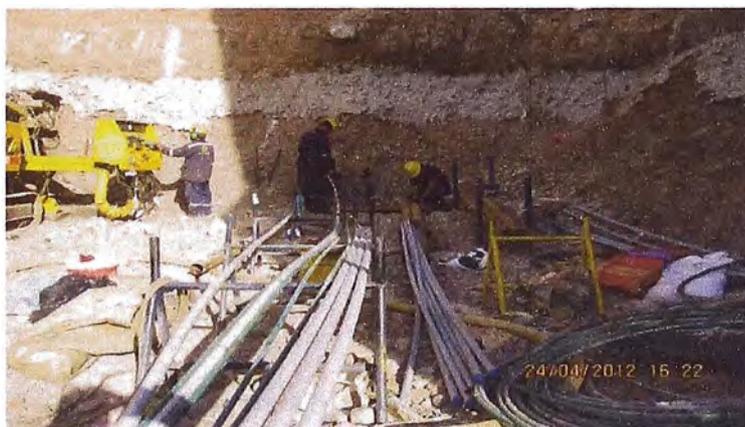


Figura N°2.13.- Montaje de anclaje

Los cables requeridos serán suministrados con protección anticorrosiva de fábrica, es decir, el cable se encuentra engrasado y forrado con una cubierta de polietileno. El tramo del cable de acero correspondiente al bulbo del anclaje será preparado previamente, retirando el forro y quitando totalmente la grasa. En la zona de transición del tramo libre al anclado, el cable será sellado con masa plástica para evitar la entrada de lechada de cemento.

2.6.1 Perforación

El objetivo de las perforaciones para anclajes es la obtención de un agujero con la mayor linealidad posible. El diámetro es el sistema rotativo convencional, y el segundo de rotopercusión.



Figura N°2.14.- Perforación de terreno en el punto de anclaje

En el caso del método de rotopercusión, usa un martillo de fondo. El método se basa en una broca excéntrica que perfora el taladro con un diámetro ligeramente mayor que el revestimiento, que arrastra mediante un mecanismo ubicado en el hombro de la broca. El diámetro de la perforación será de 0,122m a 0,152m.

En condiciones difíciles de perforación se puede utilizar un aditivo biodegradable que adicionado al aire comprimido crea una espuma que facilita la limpieza del taladro, al mismo tiempo que lubrica el martillo de fondo y la broca de perforación, también minimiza la producción de polvo de los detritus finos de la perforación.

2.6.2 Inyección

Los anclajes serán fijados en el terreno a través de lechada de cemento, es el más aplicado y la de menor costo. La lechada es usualmente compuesta por una simple mezcla de agua limpia con cemento portland común. El uso de aditivo químico acelerante no está considerado.

La gran mayoría de las recomendaciones y prácticas existentes sitúan el factor agua/cemento entre 0,40 y 0,45 con límite inferior del orden de 0,35 y superior de 0,60. Este último valor es el que consideraremos, mezcla que garantiza una resistencia a la compresión simple de 210 kg/cm² a los 7 días.

➤ La preparación de la lechada

La lechada es preparada en mezcladoras mecánicas de alta turbulencia. Estas mezcladoras tienen dos reservorios sucesivos. El primero funciona

como dosificador, además de promover una mezcla inicial de la lechada y el segundo como reservorio y agitador, que alimenta la bomba de inyección.

La mezcla será agitada por un tiempo suficiente para que sea homogénea, normalmente durante algunos minutos (2 a 3 minutos). Se transfiere enseguida, la mezcla para el segundo reservorio.

➤ **Inyección de la mezcla**

Se utilizará una bomba especial de alta presión y de bajo caudal, pudiendo ser de pistón o de tornillo. La inyección se realizará con tubería metálica auxiliar de diámetro menor al tubo de inyección de PVC del anclaje.

La inyección comprende el llenado con lechada de cemento, desde el fondo hasta la boca de la perforación, situación que da por terminada la inyección.

2.6.3 Tensado

Todos los anclajes serán ensayados, es decir instalados bajo tensión, luego que la lechada de cemento del anclaje y el concreto del muro, obtengan la resistencia adecuada (210 kg/cm^2), se estima en 7 días. Para la ejecución del ensayo de tensado se observarán las siguientes normas: ASTM A-36: Acero estructural, ASTM A-416/A416M y las recomendaciones para anclajes post-tensados en suelo y roca del Instituto del Post-Tensado (PTI).

El tensado de los anclajes se realizarán con gatos hidráulicos especiales, que permite tensar el anclaje en conjunto, sean de 2, de 3 o más cables de acero los que conforman el anclaje.

Se realizará dos tipos de ensayos de tensado, estos son:

- Ensayo de recibimiento, aplica un ciclo de carga, descarga e incorporación.
- Ensayo de calificación, se aplica varios ciclos de carga y descarga, según cada etapa del ensayo. Este ensayo se realizará en 10% a 5% de los anclajes instalados.

2.7 SECUENCIA DE COLOCACION DEL ANCLAJE, POSTERIOR TENSADO Y LA CONSTRUCCIÓN DE LOS DOS NIVELES DEL MURO PANTALLA

La construcción del muro pantalla se realizará en etapas en forma descendente, se excavará un primer nivel hasta la cota aproximada del piso del semisótano, estar pendiente de dejar una franja de 0,80 m del límite del terreno y que el talud

del corte tenga una pendiente promedio de -80° respecto a la horizontal, tal como se muestra en la secuencia de excavación, anclaje y construcción del muro pantalla sugerido por la Empresa ejecutora. Ver figuras N°2.15

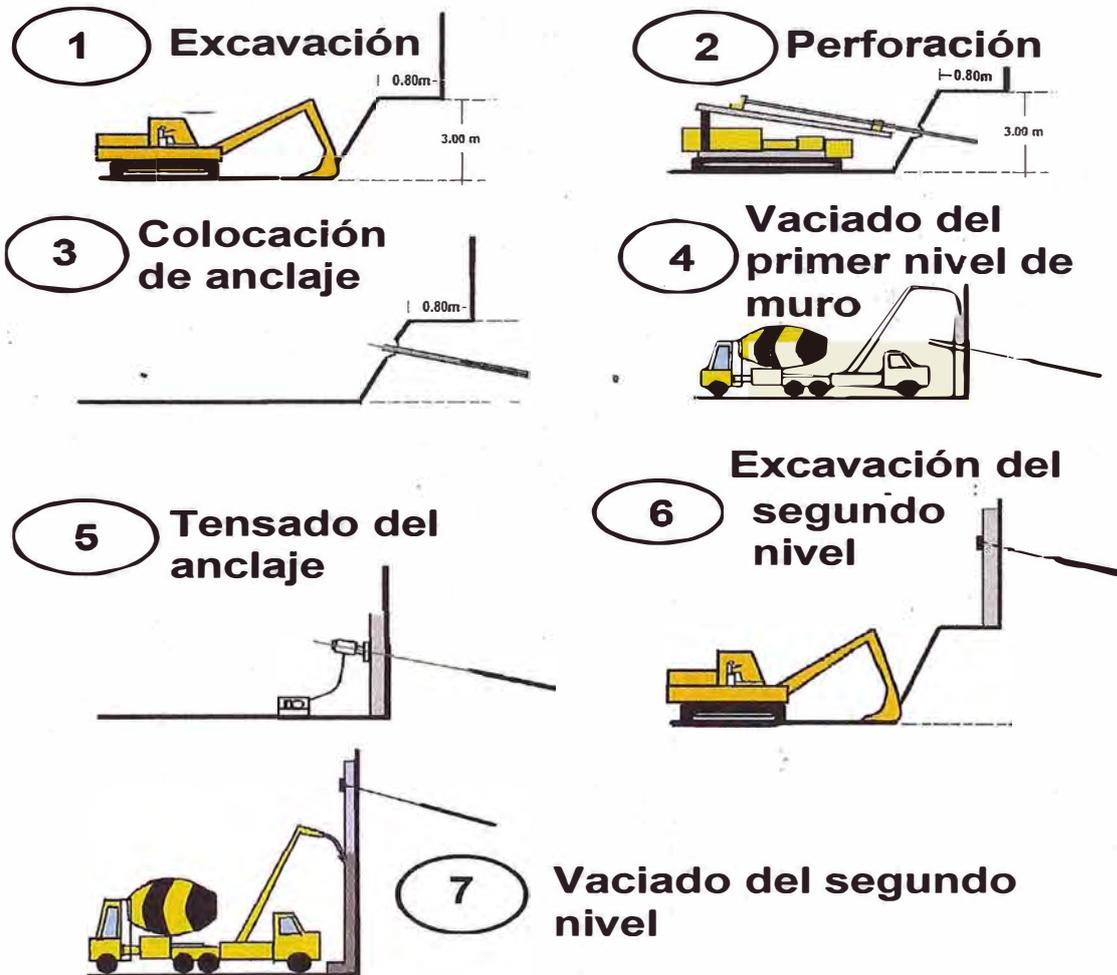


Figura N°2.15.-Secuencia de excavación, anclaje y construcción de muro pantalla anclada

Se debe tener cuidado especial en ubicar y anular cualquier infiltración de agua o desagüe que pudiera existir y que sature el suelo, así como determinar la existencia de cables eléctricos en la zona a perforar.

2.8. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE MURO PANTALLA

Fase I: Perforación y colocación de anclaje



Figura N°2.16.-Se realiza el trazo y se define el punto de perforación.



Figura N°2.17.-Se arma el casing con su respectivo taladro



Figura N°2.18.-Colocación de: espuma líquida para que limpie el taladro en la perforación y lubricante para que rote el taladro.



Figura N°2.19.-La máquina perforadora se posiciona en el punto a perforar.



Figura N°2.20.-Al colocar la perforadora en posición se mide el ángulo de inclinación.



Figura N°2.21.- Momento de perforación en un punto de anclaje.



Figura N°2.22.-Se introduce el cable de acero-anclaje.

Fuente de figuras N°2.16 y 2.18: www.youtube.com/watch?v=Z5BnWzblbjQ EDIFICA

Fase II: Inyección y vaciado



Figura N°2.23.-Colocación de la boquilla para la inyección.



Figura N°2.24.-Instalación de la manguera para la inyección.



Figura N°2.25.-Momento de inyección de lechada de cemento al anclaje.



Figura N°2.26.-Excavación de la banqueta para la construcción del muro pantalla.



Figura N°2.27.-Perfilado del talud vertical y colocación de lechada de cemento para estabilizar el talud.



Figura N°2.28.-Colocación de armadura para el muro pantalla en zona de refuerzo de anclaje.



Figura N°2.29.- Encofrado de muro pantalla



Figura N°2.30.-Momento del vaciado de concreto premezclado con bomba en el muro pantalla.

Fase III: Tensado de anclajes



Figura N°2.31.-Colocación de platinas en el punto de anclaje.



Figura N°2.32.-Colocación del cabezal sobre las platinas.



Figura N°2.33.-Colocación del molde listo para el tensado.



Figura N°2.34.-Instalación del gato hidráulico y la manguera de alta presión



Figura N°2.35.-Momento de medición de la elongación.



Figura N°2.36.-Culminación del anclaje para posteriormente retirar el molde y corte del anclaje

Fuente de figuras N°2.31 al 2.36: www.youtube.com/watch?v=Z5BnWzblbjQ:EDIFICA

2.9 RESUMEN

En este capítulo se menciona los fundamentos teóricos que se utilizan para el sistema estructural de muro pantalla, el procedimiento constructivo, los materiales, equipos y herramientas que se utilizan para su ejecución.

También se hace una clasificación de tipos de anclajes que se podría utilizar para el tensado en el muro y de que dependen para su elección, además se menciona las partes principales de dicho anclaje que son muy vitales conocer la función que cumple cada una de ellas y la metodología de trabajo en su preparado, de acuerdo obviamente a los cálculos efectuados previamente en el diseño.

CAPÍTULO III: FUNDAMENTO TEÓRICO DE LAS CALZADURAS

3.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describirá el sistema de construcción de calzaduras donde se requiere ejecutar el diseño de las calzaduras para el sostenimiento de taludes en la excavación para un semisótano y sótanos en el área de implantación de un proyecto de edificación.

La información requerida son los planos y el estudio de suelos.

3.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CALZADURAS

Este sistema de calzaduras se emplea en nuestro país para muros de contención, de gravedad, hechos con carácter provisional, cuando se hace una excavación en un terreno colindante con algún vecino o la calle.

También podemos generalizar para otro tipo de funciones y lo empleamos indistintamente para aquellas obras que se realizaran con algunos de los propósitos siguientes:

- a) Para consolidar la cimentación de una estructura existente. Tal es el caso de una estructura que ha sufrido asentamientos. Este caso es muy 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 y detener los asentamientos.
- b) 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.

3.3. MATERIALES UTILIZADOS EN EL SISTEMA DE CALZADURAS

Se utilizarán los especificados por su resistencia y durabilidad:

3.3.1. LA MEZCLA DE CONCRETO

La mezcla de concreto simple de acuerdo a la norma ASTM C172 está conformada básicamente por cemento portland Tipo I, con agregado grueso o grava y agua, cuya dosificación $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$: cemento-hormigón + 25% de piedra de 3" a 6" de diámetro (4.5 bolsas de cemento por metro cúbico). Incluirá además aditivo como el expansor para mezclas de cemento, utilizada en la última tanda del vaciado de concreto de cada módulo en una proporción de 850

gramos (1 bolsa) por cada bolsa de cemento de 42.5 kg de peso para conferirle propiedades particulares de acuerdo al diseño evitando cangrejas o fisuras.

.3.3.2. EL ENCOFRADO

El material para encofrar cada una de las calzaduras es: madera tornillo, clavos de 3" y alambre negro N°8.

3.4. PRECAUCIONES EN LAS CALZADURAS

La calzadura es una construcción complicada y peligrosa por el estado tensional en condiciones estáticas y bajo sismo al que pueden ser sometidas, dado que dicho estado puede variar bruscamente, por presencia de agua o vibración, razón por la cual deberá ser ejecutada por expertos en la materia y tener las siguientes precauciones:

➤ Diseño de la calzadura

Se aconseja conocer las características, condiciones del suelo, sus variaciones, ubicación de las edificaciones colindantes, contar con un plano de calzadura y sus sugerencias constructivas.

Las cargas sobre la calzadura como empujes laterales y cargas verticales en cada uno de los puntos de excavación deberán ser evaluadas en función a las características del suelo, su contenido de humedad y la cercanía de cimentaciones profundas.

➤ Organización

Tratar de que la construcción sea lo más seguro y rápido posible en el proceso de excavación, encofrado, apuntalamiento y vaciado, todo en el mismo día programado.

➤ Reforzamiento de zonas cercanas a la calzadura(Apuntalamiento)

El reforzamiento o apuntalamiento es muy importante sobre todo cuando tenemos edificaciones vecinas ya sea que éstas estén al borde de la excavación o estén más retiradas, caso más peligroso porque la calzadura no cuenta con el beneficio de la carga vertical y trabajará solamente como pantalla con el empuje adicional del bulbo de presiones de la cimentación del edificio, razón por la cual el apuntalamiento deben ser parte en el diseño de la calzadura.

El empleo de apuntalamiento no solo da seguridad a la calzada sino que también puede reducir el costo sustancialmente al permitir espesores menores de calzada.

➤ **Seguimiento permanente**

En la etapa de excavación de la calzada se hace necesario la presencia permanente de un experto que pueda detectar algún problema de desplazamiento, asentamiento, aparición de grietas de tensión o grietas en las edificaciones aledañas.

➤ **Agua**

La presencia de agua aumenta tremendamente los empujes y puede traernos abajo una calzada aún apuntalada, razón por la cual debemos estar siempre atentos al 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.

La pérdida de cohesión además de incrementar los empujes, dificulta el trabajo de calzada y puede llevar a la necesidad de entibamiento del suelo.

No se permitirá por ningún motivo, el recalzo de un muro hecho de una vez en toda su longitud.

Si la pared es larga, cabe trabajar simultáneamente en varios puntos, mientras la distancia que exista entre dos de ellas exceda de 12 veces el espesor del muro que se quiere calzar, como condición mínima de espaciamiento.

3.5. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE CALZADURAS

➤ **Excavación**

Utilizando una maquinaria pesada, se procede a la excavación masiva, hasta llegar a una profundidad por debajo del nivel de cimentación vecina de aproximadamente 2.00 m por debajo del nivel cero, esto es, asumiendo que la cimentación vecina tiene 1.00 m de profundidad, quedando 1.00 m de altura el primer nivel de calzaduras de la construcción nueva.

Es importante que en la primera excavación masiva se deje una banqueta perimetral de sección transversal trapezoidal de base superior de 1.00 m

como mínimo y de base inferior de 1.50 m como mínimo, que servirá de sostenimiento del terreno vecino.



Figura N°3.1.-Se muestra la banqueta, excavación de piques para las calzaduras

A continuación se procederá a excavar manualmente en la banqueta perimetral, dejando piques y en forma alternada de manera que entre pique y pique en trabajo quedarán como mínimo, dos piques sin excavar de distanciamiento de acuerdo a los planos.

Solo cuando se haya llegado a excavar así el pique a plomo con la cimentación vecina y hasta su primer nivel, se procederá a la excavación del terreno por debajo de la cimentación existente hasta la profundidad indicada en los planos de calzaduras



Figura N°3.2.-Excavación de calzaduras por debajo del cimiento vecino

➤ **Encofrado de calzaduras**

En esta actividad se encofran los espacios excavados con paneles o tablas, quedando una abertura de 30x25 cm aproximadamente en la parte superior

del panel, utilizado para este fin, esto, para poder ejecutar el vaciado de concreto. Dicho encofrado deberá quedar apuntalado en su la cara externa, para evitar empujes posteriores del mismo concreto vaciado.

Se recomienda que los materiales, agregados y la mezcladora se ubiquen a distancias cercanas al vaciado y utilizar rampas para facilitar el vaciado del concreto.



Figura N°3.3.- Encofrado y preparación para vaciado de calzaduras

➤ **Vaciado de concreto**

En este proceso, el vaciado de concreto se puede ejecutar utilizando carretillas, lampas y la mezcladora, con la dosificación indicada en los planos. Además es necesario agregar un expansor de concreto en la última tanda de vaciado de cada calzada, para que el concreto tenga una mejor adherencia con la calzada superior y exista una transferencia de cargas de modo uniforme en las superficies de contacto.

➤ **Notas importantes que considerar en el proceso constructivo**

No se procederá a excavar los piques correspondientes al segundo nivel, calzada inferior, mientras no haya sido totalmente cubierta la calzada superior.

Habrá un desfase de medio paño entre las calzaduras superior e inferior, que permita una trabazón adecuada entre los paños calzados.

Hay que tener mucho cuidado en rellenar con mortero seco, bien relleno y compacto en las juntas horizontales y la parte común alrededor de la calzada.

3.6 RESUMEN

En este capítulo al igual que el anterior se menciona los fundamentos teóricos a través de una descripción que se utilizan para el sistema estructural de calzaduras, el procedimiento constructivo, los materiales, equipos y herramientas que se utilizan para su ejecución.

Lo que hay que resaltar es que se detallan las precauciones y cuidados que hay que tener en el momento de ejecutar la construcción de dichas calzaduras, obviamente para evitar accidentes y para ello hay que seguir fielmente las indicaciones hechas en los planos de diseño, sin exceder los límites establecidos.

Se dan algunas recomendaciones que se deben considerar en el proceso constructivo, respetando las normas técnicas.

CAPÍTULO IV: EVALUACION TECNICA DE UN MURO PANTALLA Y CALZADURA

Se efectuará la evaluación a una edificación ubicada en el Distrito de Magdalena del Mar. (Ver anexo A)

4.1 DISEÑO DEL ANCLAJE PARA EL MURO PANTALLA

Para el caso del informe de suficiencia, solo se hará el análisis desde el punto de vista de la estabilidad de taludes y no necesariamente el diseño de la estructura, razón por la cual se diseñará el anclaje para el muro pantalla.

La elección del sistema de anclaje depende particularmente de la expectativa que se tenga sobre la forma como el terreno responda, de las facilidades de instalación y parcialmente del costo.

4.1.1 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS - GEOLÓGICOS INELUDIBLES

El estudio Geotécnico ayuda a comprender el comportamiento del suelo a estabilizar, debiéndose determinar las propiedades mecánicas de dicho terreno como su capacidad portante, ángulo de fricción y su cohesión. Los parámetros necesarios para el análisis de estabilidad son:

- Estratigrafía, el perfil estratigráfico elaborado a partir de los sondeos de investigación, las que deben extenderse fuera del límite del terreno que realmente va a empujar sobre el muro pantalla y donde pueda convenir efectuar las inyecciones de empotramientos.
- Lista de propiedades mecánicas, como el peso unitario del suelo, granulometría, los que determinan el tipo de anclaje.
- Resistencia al corte y ángulo de fricción (c y ϕ), usadas para el análisis de estabilidad, cálculos de presiones del suelo y determinación de la capacidad de carga de los anclajes.
- Análisis de agresividad del agua y de los suelos.

Para nuestro caso el perfil estratigráfico del suelo donde se construirá el edificio, se considera el indicado en el estudio de suelos. Las gravas arenosas con bolones de hasta 10", mal gradadas, y de medianamente denso a muy denso, es la capa preponderante en la zona de cimentación del proyecto sobre yaciendo a las Gravas GP, en espesor promedio de 0.90 m, se tiene capas de arenas arcillosas medianamente firmes y de baja plasticidad.

El perfil tipo que utilizaremos se describe a continuación:

- De 0.00 m a 0.80 m, (RE) relleno de arena arcillosa, de baja plasticidad, medianamente firme con presencia aislada de desmonte.
- De 0.80m a 7.00 m, (GP) Grava arenosa, mal gradada con matriz de arena de grano medio, con cantos rodados y bolones redondeados de hasta 10" a 12", compactidad medianamente densa a densa a mayor profundidad.

Para el cálculo de estabilidad del talud de la excavación, se ha considerado los siguientes parámetros:

Tabla N°4.1.- Valores geomecánicos

Material	Clasificación SUCS	γ_{nat} (KN/m ³)	Cohesión (KPa)	Angulo de fricción (ϕ)
Relleno	RE	18,00	10,00	25,00
Grava arenosa	GP	20,00	0,00	34,00

Nota.- El nivel freático está por debajo de la influencia de la cimentación del proyecto.

4.1.2 MODELO GEOMECÁNICO Y ANALISIS DE ESTABILIDAD

El modelo geomecánico utilizado para el cálculo de estabilidad del talud de corte, considera los parámetros indicados en Tabla 4.1; también consideramos posibles sobrecargas vehiculares y otros para el modelo aplicado.

Para el tipo de terreno y la ubicación del terreno, se ha considerado los siguientes valores de coeficientes sísmicos de aceleración:

- Dirección horizontal: 0,20 aceleración (g)
- Dirección vertical: 0,05 aceleración (g)

Sobre carga debida al edificio contiguo (lado derecho) de 60 KN/m

Línea de anclaje a cota de 1.40 m. aproximadamente debajo del tope del muro, teniendo presente que existen cisternas, pozos a tierra y tuberías en la cimentación vecina que pueden dificultar la perforación para el anclaje a esa cota calculada en el diseño.

El diseño final de la estabilidad del talud con muro pantalla anclada, obligará a la revisión o reforzamiento de la armadura del muro que absorberá los esfuerzos del empuje del subsuelo.

La finalidad en el análisis de estabilidad de taludes, es calcular el **factor de seguridad**, el cual es posible calcularlo por el método de **Bishop simplificado** o utilizando un software, como el programa de cómputo **Slide**.

MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO

Bishop, presentó un método de equilibrio límite, no exacto y aproximado, utilizando dovelas, teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las dovelas, asumiendo que las fuerzas entre dovelas son horizontales, es decir, que no tienen en cuenta las fuerzas de cortante. Ver figura N°4.1.

Es uno de los métodos más utilizados en la actualidad para deducir el factor de seguridad y el método consiste en:

- Relacionar el momento resistente disponible con el momento actuante.
- Dividir la superficie circular de falla en dovelas.
- En la sumatoria de fuerzas horizontales para su equilibrio.

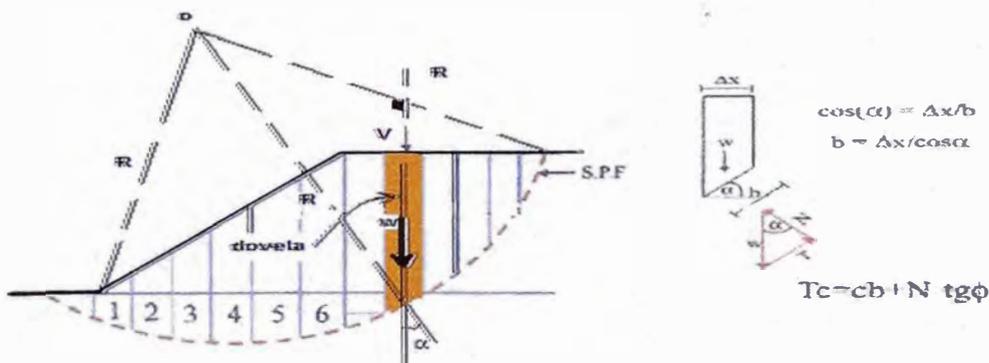


Figura 4.1.-Metodo de Bishop simplificado por dovelas

$$F.S. = \frac{\sum R (N \cdot \tan \phi + cb)}{\sum R ((W + V) \cdot \sin \alpha)} \quad (11)$$

Fuente: http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/03_clases_catedra/clases_catedra_ms2/taludes_15_05_09.pdf

$$\Sigma F_v: N \cdot \cos \alpha - (W+V) + T_c \cdot \sin \alpha = 0 \quad (2)$$

$$\text{RESISTENCIA POR FRICCIÓN: } T_c = \frac{N \cdot \tan \phi}{F.S} \quad (3)$$

Reemplazando 3 en 2 y dividiendo por $\cos \alpha$:

$$N = \frac{W + V}{\cos \alpha} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\tan \phi \cdot \tan \alpha}{F.S}}$$

Reemplazando en (1)

$$F.S = \frac{\left(\frac{W + V}{\cos \alpha} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\tan \phi \cdot \tan \alpha}{F.S}} \right) \cdot \tan \phi + c \cdot \Delta x}{(W + V) \cdot \sin \alpha}$$

PROGRAMA DE CÓMPUTO SLIDE VERSIÓN 5.033

El programa fue escrito para soluciones generales de estabilidad de taludes a través del Método del Equilibrio Límite en dos dimensiones. El programa permite la utilización de diferentes metodologías de cálculo, como el tanteo de valores de radio para obtener el factor de seguridad, ver fig. N°4.1a. Para el presente trabajo se utiliza el método Simplificado de Bishop, que analiza el mecanismo de falla circular por dovelas. Ver figura N°4.2.

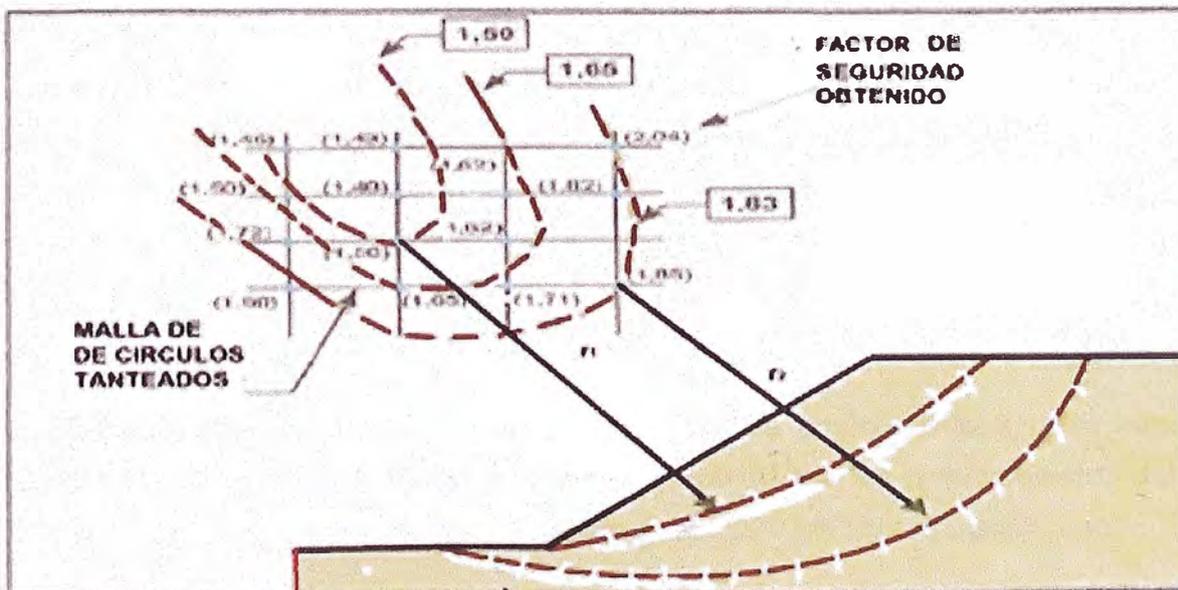


Figura N°4.1a.-Tanteo con diversos círculos y obtención del factor de seguridad mínimo correspondiente al talud

fuelle: tesis estudio geotecnia de la zona en deslizamiento de la cantera cantil sur-ri.bib.udo.edu.ue

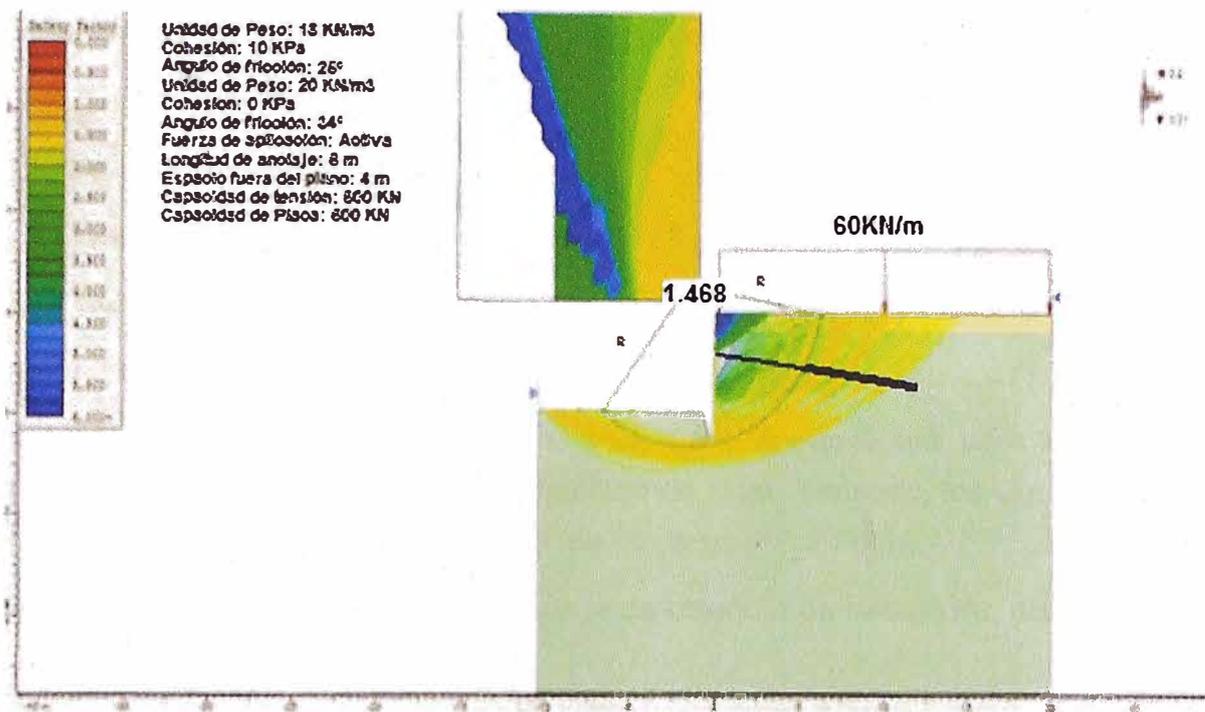


Figura N°4.2.- Salida del programa SLIDE, obtención del factor de seguridad mayor a 1.00

4.1.3 DISEÑO DE LOS ANCLAJES

Los anclajes post-tensados son estructuras flexibles y lineales compuestos por varios cordones de acero de alta resistencia, los cuales se adhieren o fijan con cemento dentro de roca o suelo estable (pasan por el plano de falla). Los anclajes al tensarlos transmiten los esfuerzos desde el cabezal (extremo visible en la superficie del talud) hasta el tramo anclado, mitigando de esta forma los movimientos del talud.

Cordones de acero

Los anclajes estarán conformados por cordones de acero grado 270 de baja relajación, con 0,6" (15,242mm) de diámetro, acorde con los requerimientos del ASTM A-416. Las características del acero grado 270 de baja relajación son:

- Esfuerzo mínimo a la rotura: 189.80 Kg/mm² = 186.19 KN/cm²
- Esfuerzo de fluencia: 170.82 Kg/mm² = 167.57 KN/cm²
- Módulo de elasticidad: 19 750.00 Kg/mm² = 19 374.75 KN/cm²

Según los requerimientos indicados en la norma ASTM A-416, los valores de resistencias mínimas del cable, se indican a continuación:

- Diámetro del cordón: 0.60 in = 15.24 mm
- Área de acero por cordón: 0.217 in² = 140.00 mm²
- Resistencia mínima a la rotura (Fr): 26 572.00 Kg= 260.70 KN
- Resistencia mínima a la fluencia (Sf_c): 23 915.00 Kg= 234.60 KN

Lineamientos de diseño

Con estas características se obtienen, según los lineamientos para diseño indicados en las recomendaciones del Instituto de Post- Tensado, los siguientes valores para cada cable de acero de 5/8" de diámetro (15,24 mm):

Con Fr = 26 915.00 Kg., calculamos la carga de diseño o de trabajo F_{tr}, donde:

$$F_{tr} = 0.60(F_r)$$

$$F_{tr} = 15\ 943.20\ Kg = 156.40\ KN$$

- Carga de ensayo = 120% F_{tr} * = 19 131.84 Kg=187.68 KN
- Carga de incorporación=105%F_{tr}= 16 740,36 Kg =164,22 KN

*Porcentaje sugerido para los ensayos en anclajes temporales.

Elaboración de la tabla de diseño de anclajes

Para elaborar la tabla N°4.2 seguimos las RECOMMENDATIONS FOR PRESTRESSED ROCK AND SOIL ANCHORS –Post Tensioning Institute – 1996 donde detalla las siguientes fórmulas:

$$L_a = \left(\frac{F_t}{\pi D t_w} \right) \cdot FS$$

L_a = Longitud anclada (m)

F_t = Carga de ensayo de anclaje (KN)

D = Diámetro de la perforación (m)

t_w = Adherencia suelo o roca /lechada = 400.00 KPa (adoptada por la empresa.

FS = Factor de seguridad = 1.20

$$F_{tr} = (S_f A)FS$$

F_{tr} = Carga máxima de trabajo que puede ser aplicada en cada cable (KN)

S_f = Esfuerzo de fluencia del acero = 167.57 KN/cm²

A = Área de la sección del acero = 1.40 cm²

FS = Factor de seguridad = 0.80

Carga de ruptura del cable = 260.7 KN

Resistencia mínima a la fluencia del cable = 234.6 KN

$$F_{tr} = (167.57 \times 1.40) \times 0.80 = 187.68 \text{ KN}$$

Para elaborar la tabla N°4.2 de diseño de anclajes se tomó en consideración el lado derecho de 25m de longitud del terreno colindante con el edificio de cinco pisos realizándose los siguientes cálculos:

a) N° de anclajes en el lado del terreno considerado para el análisis

$$\text{N° de anclajes (redondeado)} = \frac{\text{Longitud del lado derecho del terreno}}{\text{Longitud de paño asumido}}$$

$$\text{N° DE ANCLAJES (REDONDEADO)} = \frac{25.00}{4.00} = 6.25 \approx 6 \text{ ANCLAJES}$$

b) Carga de anclaje

La carga de anclaje de 60 toneladas es estimada para un edificio de cinco pisos y se proporcionó al programa de cómputo **SLIDE DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES** versión 5.0330.

c) Carga de trabajo (KN)

$$\text{Carga de trabajo} = (60 \text{ t})(9.81 \text{ m/s}^2)(1000 \text{ Kg/t}) = 588.60 \text{ KN}$$

d) Carga de ensayo del anclaje (KN) = Carga de trabajo x F.S.

$$\text{Carga de ensayo del anclaje} = 588.60 \times 1.2 = 706.32 \text{ KN}$$

e) Longitud anclada (m) = L_a

$$\text{Longitud anclada (redondeada)} = \left[\frac{Ft}{\pi D t_w} \right] F.S.$$

$$\text{LONGITUD ANCLADA (REDONDEADA)} = \left[\frac{706.32}{\pi \cdot 0.122 \cdot 400} \right] \times 1.2 = 5.53 \approx 6$$

F_t = carga de ensayo del anclaje (KN)

D = Diámetro de la perforación (m)

t_w = Adherencia de suelo con roca/lechada (K/Pa)

F.S. = Factor de seguridad

f) Longitud del anclaje (m)

La longitud del anclaje nos proporciona el programa SLIDE de estabilidad de taludes

La longitud del anclaje = 12 m

g) Longitud libre

Longitud libre (redondeada) = $12 - 5.53 = 6.47 \approx 6$ m

h) Número de cables

$$N^{\circ} \text{ cables (redondeado)} = \frac{\text{carga de trabajo (KN)}}{\text{Carga máx. de diseño o de trabajo que se puede aplicar en c/cable}}$$

$N^{\circ} \text{ Cables (redondeado)} = 588.6 \text{ KN} / 156.4 \text{ KN} = 3.76 \approx 4$ cables

i) Longitud total de cables

Long. total de cables = [Long. tramo anclado + Long. tramo libre + Long. dejada para el tensado] x N° total de cables por cada anclaje

Long. total de cables = $[6+6+1.5] \times 24 = 324$ m

j) Metrado de perforación

Metrado de perforación = Long. de anclaje x N° total de anclajes

Metrado de perforación = $12 \times 6 = 72$ m

k) Factor de seguridad contra fluencia = F.S._{fluencia}

$$F.S._{\text{fluencia}} = \frac{\text{Resistencia mínima a la fluencia}}{\text{Esfuerzo del acero x factor de carga de incorporación}} = \frac{234.6 \text{ KN}}{167.57 \times 1.05} = 1.33$$

l) Factor de seguridad contra la ruptura = F.S._{ruptura}

$$F.S._{\text{ruptura}} = \frac{\text{Resistencia mínima a la rotura}}{\text{Esfuerzo del acero x factor de carga de incorporación}} = \frac{260.70 \text{ KN}}{167.57 \times 1.05} = 1.48$$

TABLA N°4.2.-DISEÑO DE ANCLAJES

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	VALOR CALCULADO	VALOR REDONDEADO
SECCIÓN	Lado derecho		
LONGITUD	m	25.00	
FILA		1.00	
N° DE ANCLAJES	Und.	6.25	6.00
CARGA DE ANCLAJE	Ton	60.00	
LONGITUD LIBRE	m	6.47	6.00
LONGITUD ANCLADA	m	5.53	6.00
DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	m	0.12	
LONGITUD DEL ANCLAJE	m	12.00	12.00
N° DE CABLES	Und.	3.76	4.00
LONGITUD TOTAL DE CABLES	m	324.00	
CARGA DE TRABAJO	KN	588.60	
CARGA DE ENSAYO	KN	706.32	
METRADO DE PERFORACIÓN	m	72.00	
FACTOR DE SEGURIDAD CONTRA FLUENCIA		1.33	
FACTOR DE SEGURIDAD CONTRA RUPTURA		1.48	

4.2 DISEÑO DE CALZADURAS

La calzadura es un elemento estructural que no tiene refuerzo de acero, prácticamente es un muro de gravedad de concreto ciclópeo que va aumentando su espesor en forma escalonada dependiendo de la altura a calzar.

Este sistema estructural depende directamente del suelo de fundación y la presión del suelo sobre la calzadura, donde dicho sistema tiene buen comportamiento en un suelo tipo conglomerado, caso contrario sería muy peligroso su proceso constructivo y es mejor optar por otro sistema estructural.

4.2.1 Alcances de la Norma Técnica en el diseño de calzaduras

La Norma Técnica de Suelos y Cimentaciones que proporciona una serie de recomendaciones en el diseño de obras de sostenimiento como las calzaduras conjuntamente con un estudio de suelos es la E-050 la cual se analiza a continuación.

i) Según el acápite 6.5.2 de las especificaciones de la N.T.P. en estructura de sostenimiento:

“Las calzaduras son estructuras provisionales que se diseñan y construyen para sostener las cimentaciones vecinas y el suelo de la pared expuesta, producto de las excavaciones efectuadas. Tienen por función prevenir las fallas por inestabilidad o asentamiento excesivo y mantener la integridad del terreno colindante y de las obras existentes en él, hasta que entre en funcionamiento las obras de sostenimiento definitivas. Las calzaduras están constituidas por paños de concreto que se construyen alternadas y progresivamente. El ancho de las calzaduras debe ser inicialmente igual al ancho del cimiento por calzar y deberá irse incrementando con la profundidad. Las calzaduras deben ser diseñadas para las cargas verticales de la estructura que soportan y para poder tomar las cargas horizontales que le induce el suelo y eventualmente los sismos”

La norma E-050 de Suelos y Cimentaciones menciona que el ancho inicial de la calzadura debe ser igual al ancho del cimiento vecino, pero no especifica técnicamente cuales serían los anchos iniciales de la calzadura en los casos que las cimentaciones vecinas sean: una platea de cimentación, cimentación de pórticos con zapatas aisladas o vereda para tránsito peatonal, para tal caso deberá ser resuelto por el profesional responsable del proyecto.

ii) Según el acápite 6.5.4 de las especificaciones de la N.T.P. con respecto al diseño y construcción de obras de sostenimiento, menciona lo siguiente:

En el proyecto de las estructuras de sostenimiento el contratista de la obra deberá considerar como mínimo los siguientes aspectos:

- Los empujes del suelo.
- Las cargas de las edificaciones vecinas.
- Las variaciones en la carga hidrostática (saturación, humedecimiento y secado).
- Las sobrecargas dinámicas (sismos y vibraciones causadas artificialmente).
- Las ejecuciones de accesos para la construcción.
- La posibilidad de realizar anclajes en los terrenos adyacentes (de ser aplicable).

- La excavación, socavación o erosión delante de estructuras de sostenimiento.
- La perturbación del terreno debido a las operaciones de hinca o de sondeos.
- La disposición de los apoyos o puntales temporales (de ser requeridos).
- La capacidad del muro para soportar carga vertical.
- El acceso para el mantenimiento del propio muro y cualquier medida de drenaje.

Los empujes son generados por el suelo sobre la obra de sostenimiento y varían dependiendo del tipo de suelo.

Las cargas de las edificaciones colindantes serán halladas por un metro de cargas, teniendo en cuenta las normas técnicas E-020 Cargas y E-030 Sismo resistente.

Las fuerzas de sismo y vibración, deben ser tomadas en cuenta por el profesional que diseña la estructura de sostenimiento, en muchos casos estas fuerzas no son tomadas en cuenta, por ser poco frecuentes.

En el sistema de calzaduras la erosión o socavación es nula, el medio de cimentación es un terreno seco o con poca humedad y la fuerza del viento no afecta en demasía.

Las calzaduras, son muros de contención en voladizo y como tales, tienen desplazamientos laterales en la parte superior, se recomienda que se apuntale la zona de coronación de la calzadura para evitar estos daños.

El caso de excavación entre puntales debe ser controlada, este proceso puede desestabilizar los apoyos y nuestra estructura puede colapsar.

La capacidad de carga vertical de la calzadura esta dada por el profesional que realiza el diseño.

4.2.2 Parámetros de diseño de calzaduras

Para elegir la adecuada cimentación, es necesario establecer las características principales del suelo, en un suelo tipo conglomerado, los parámetros no son fáciles de obtener como en el caso de los suelos finos, porque no se dispone de equipos apropiados de campo y laboratorio. La falta de experiencia en el medio

permite que la información brindada sea referencial y/o asumida de otra experiencia.

La investigación apropiada para un buen diseño de cimentación nos permite diseñar la estructura sin dificultades y garantizar su estabilidad durante su vida útil, el estudio del suelo debe apoyarse en estudios básicos con sus respectivas pruebas de campo y laboratorio.

Los parámetros que definen el comportamiento del suelo están dados por:

γ_s = Peso unitario del suelo.
 c = Cohesión.
 ϕ = Angulo de fricción interna.
 q_{adm} = Capacidad de carga admisible del suelo.

Los parámetros que definen el comportamiento de la calzada son:

γ_c = Peso unitario del concreto.
 γ_s = Peso unitario del suelo.
 K_a = Coeficiente de empuje activo.
 ϕ = Angulo de fricción interna.
S/C = Sobrecarga.

Se debe aclarar que para encontrar las propiedades principales del suelo tipo conglomerado tales como el peso unitario, la cohesión, el ángulo de fricción, etc. se realizará un ensayo de corte directo "in situ" y estos resultados obtenidos solo serán válidos para la zona investigada.

4.2.3 Descripción del diseño de calzaduras

Para hallar las dimensiones de la calzada en el diseño, se realiza con un equilibrio de fuerzas y momentos, las fuerzas que actúan sobre la estructura son: empuje del suelo, vibraciones, sismo, sobrecarga, etc., que generan la estabilidad en la estructura, cumpliéndose los factores de seguridad.

Este diseño de la calzada es muy análogo al diseño de un muro de contención, su sistema de estabilidad está basado en el peso de la estructura que soporta las fuerzas verticales y horizontales que se presentan en este sistema de sostenimiento.

En la mayoría de los casos teóricos y prácticos estudiados se descubrió que la pared lateral de la excavación sufre un desplazamiento paralelo mayor en la parte superior y menor en su base. Estos desplazamientos dependen de factores

como rigidez del muro, dimensiones, propiedades del suelo y el tipo de apuntalamiento.

Para la determinación de los empujes de tierra se utilizan dos teorías muy publicadas como la **teoría de Rankine** que da una forma simple de análisis de diagrama de presiones y los cálculos (utilizada para el diseño de la calzadura) y la de Coulomb. Ver figura N°4.3

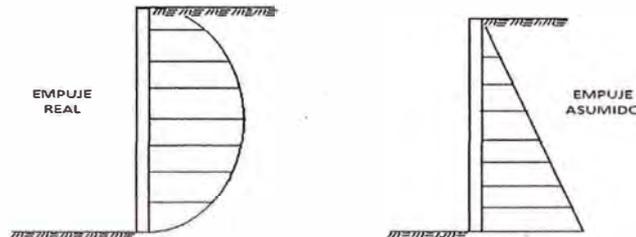


Figura N°4.3.- Empuje del suelo sobre la calzadura

i) Presión de tierra en estado de reposo

Consideremos la masa del suelo mostrada en la figura N°4.3, la cual está limitada por un muro sin fricción AB que se extiende hasta una profundidad infinita. Un elemento de suelo localizado a una profundidad “z” está sometido a presiones efectivas vertical y horizontal de σ'_v y σ'_h respectivamente. Para este caso como el suelo está seco tenemos que : $\sigma'_v = \sigma_v$ y $\sigma'_h = \sigma_h$

Si el muro AB es estático sin moverse de su posición inicial, la masa del suelo está en un estado de equilibrio estático; es decir, la deformación unitaria horizontal es 0. La relación del esfuerzo efectivo horizontal respecto del esfuerzo vertical se llama coeficiente de presión de tierra en reposo “ K_0 ”.

$$K_0 = \sigma'_h / \sigma'_v$$

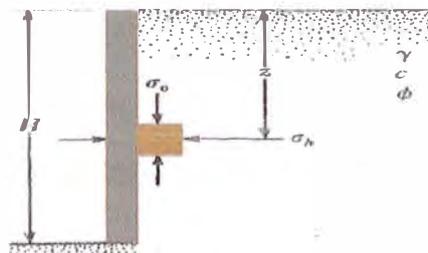


Figura N°4.4.- Distribución de fuerzas del suelo en el estado de reposo
 Fuente: Braja M.Das. capítulo 9 Presión lateral de la tierra en reposo. pág. 292

La distribución de la presión de tierra en reposo sobre un muro de altura H como se muestra en la figura N°4.4, donde la fuerza total por unidad de longitud de muro es igual a P_0 .

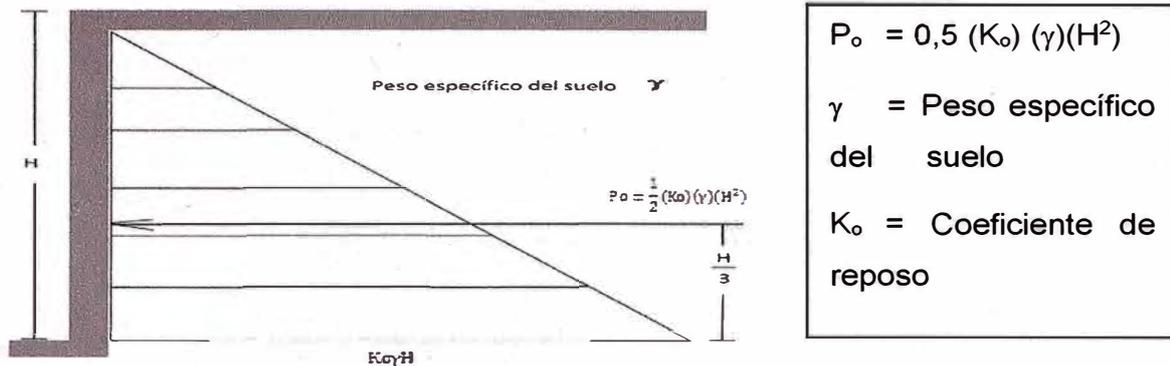


Figura N° 4.5.-Distribución de fuerzas del suelo en estado de reposo

Fuente: Braja M. DAS capítulo 9 Presión lateral de la tierra en reposo, Pág.293

ii) Presión de tierra en estado activo

La presión lateral de la tierra en el estado activo, nos indica que el muro tiende a moverse con un desplazamiento Δx , los círculos de Mohr correspondientes a los desplazamientos del muro $\Delta x = 0$ y $\Delta x > 0$ se muestran en los círculos a, b y se aprecian en la figura N°4.6. Si el desplazamiento del muro Δx sigue aumentando el correspondiente círculo de Mohr tocará eventualmente la envolvente de la falla de Mohr-Coulomb definida por la ecuación:

$$s = c + \sigma \tan \phi$$

El círculo marcado "c" representa la condición de falla de masa del suelo, el esfuerzo horizontal es σ_a y se denomina presión activa de Rankine. Las líneas de desplazamiento (planos de falla) en el suelo forman ángulos de $\pm(45^\circ + \phi/2)$.

La relación de esfuerzos principales para el círculo de Mohr que toca la envolvente de falla de Mohr-Coulomb es:

$$\sigma_1 = \sigma_3 (\tan^2(45^\circ + \phi/2)) + 2c(\tan(45^\circ + \phi/2)), \text{ para el círculo de Mohr "c"}$$

Esfuerzo principal mayor $\sigma_1 = \sigma_h$ Esfuerzo principal menor $\sigma_3 = \sigma_a$

$$\sigma_h = \sigma_a (K_a) + 2c(K_a)^{1/2}$$

Coeficiente del estado activo de Rankine: $K_a = \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$

Para $\sigma_v = 0$ en $z = 0$; $\sigma_v = (\gamma)z$ en $z = H$

$$\sigma_h = 0 = (\gamma)(Z) (K_a) + 2c(K_a)^{1/2}$$

$$Z_o = (2c) / (\gamma)(K_a)^{1/2}$$

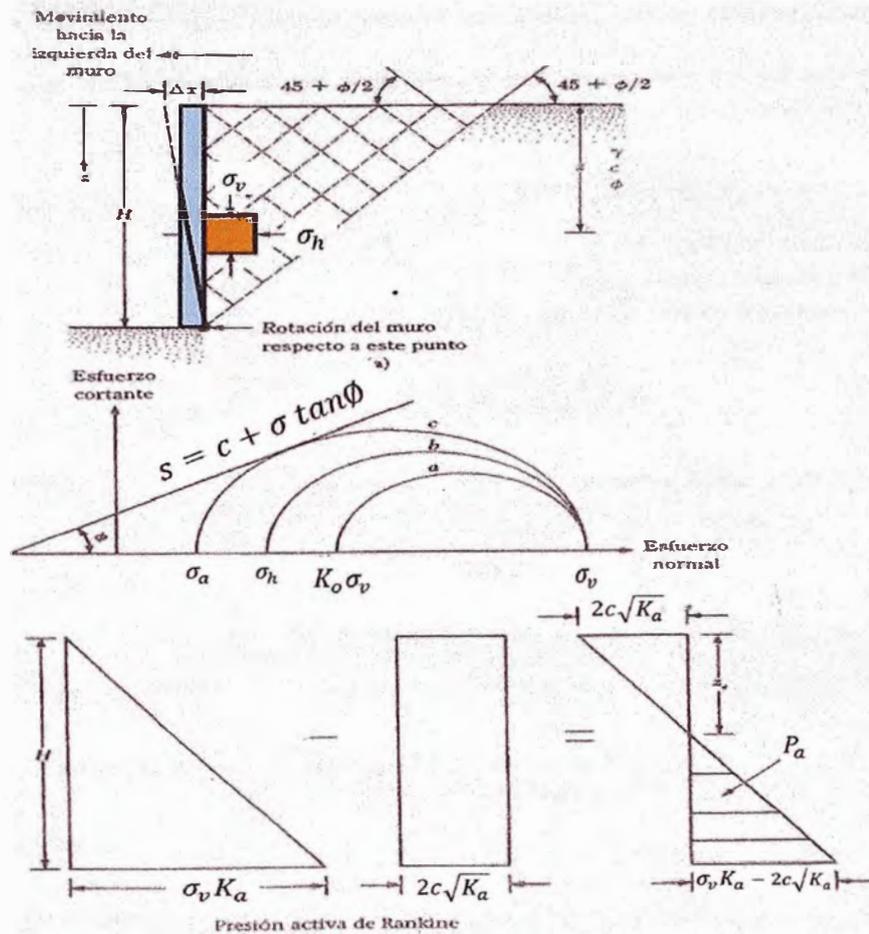


Figura N°4.6.-Distribución de fuerzas en estado activo

iii) Presión de tierra en estado pasivo

En este estado pasivo el desplazamiento del muro es hacia la derecha como se muestra en la fig. N° 4.7, se observa que el círculo de Mohr "c" toca la envolvente de Mohr-Coulomb, lo que implica que el suelo detrás del muro fallará siendo empujado hacia arriba, el esfuerzo horizontal σ_h en este punto se llama presión pasiva de Rankine $\sigma_h = \sigma_p$

$$\sigma_p = \sigma_v (\tan^2(45^\circ + \phi/2)) + 2c(\tan(45^\circ + \phi/2))$$

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$\sigma_p = \sigma_v (K_p) + 2c(K_p)^{1/2}$$

Para el diseño de las calzaduras se utilizará la teoría de Rankine en el estado activo, considerando dos tipos de suelo, cohesivo y no cohesivo, los parámetros que se usarán en el diseño son:

γ_s = Peso específico del suelo.

z = Altura de la calzada medida desde la superficie.

ϕ = Angulo de fricción interna del terreno.

K_a = Coeficiente de empuje activo del terreno.

c = Cohesión del terreno.

s/c = Sobrecarga actuante.

H_c = Altura en donde se tiene una fuerza horizontal resultante nula.

$$K_a = \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$$

$$K_a = 1 / N_\phi$$

La cohesión actúa como una fuerza distribuida

$$E_{\text{cohesión}} = \text{Fuerza distribuida} = 2c(K_a)^{1/2} = 2c / (N_\phi)^{1/2}$$

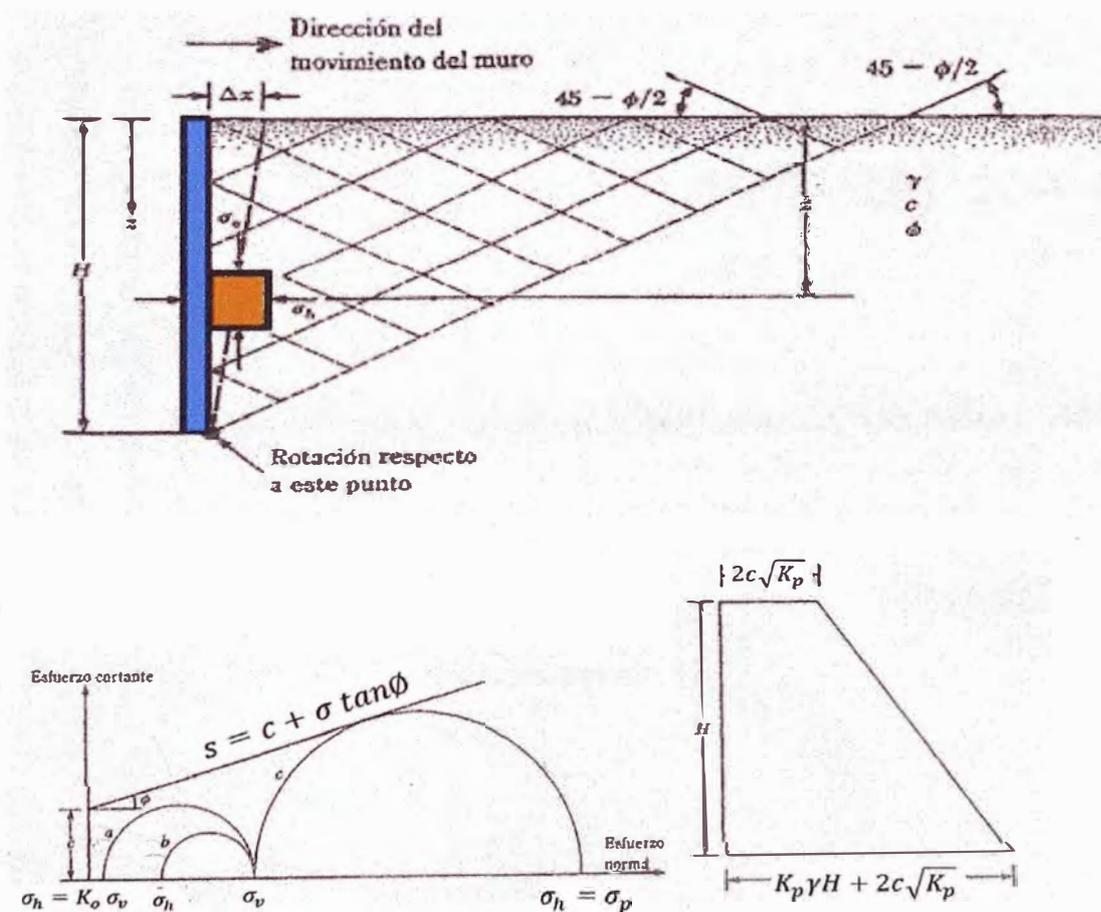


Figura N°4.7.-Distribución de fuerzas del suelo en estado pasivo

4.2.4 Suelos con cohesión

El diagrama de fuerzas que actúan en la calzadura en un suelo cohesivo, tal como se aprecia en la figura N°4.8.

E_a = Fuerza distribuida del suelo

$E_{s/c}$ = Fuerza distribuida de la sobre carga

$E_{cohesión}$ = Fuerza distribuida de la cohesión

H_c = Altura en donde se tiene una fuerza horizontal resultante nula

F_r = Fuerza resultante

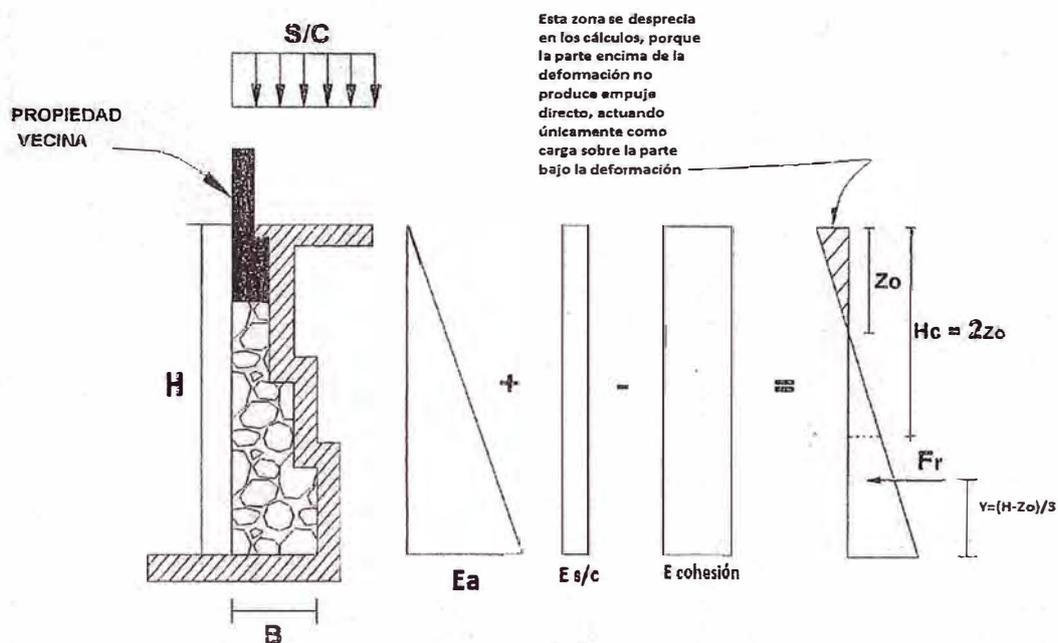


Figura N°4.8.-Distribución de fuerzas de un suelo cohesivo en la calzadura

Para poder hallar el valor de "Zo", se utiliza $N\phi$ para facilitar el cálculo.

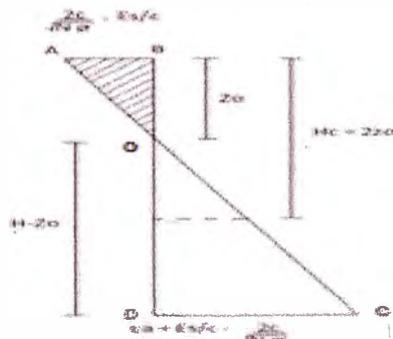


Figura N°4.9.- Diagrama de fuerza distribuida resultante en la calzadura

$$\text{Ecohesion} = \frac{2C}{\sqrt{N\phi}}$$

Luego por semejanza de triángulos entre AOB y ODC según se muestra en la fig.4.9 se obtienen lo siguiente:

$$E s/c = q \qquad Z_o = \frac{2c\sqrt{N\phi} - q}{\gamma}$$

Cálculo de fuerzas distribuidas, se conoce que las fuerzas distribuidas deben estar afectadas por el coeficiente activo Ka:

$$Ea = \frac{\gamma(H)}{N\phi} = \gamma(H)Ka \qquad E s/c = \frac{s/c}{N\phi} = q(Ka) \qquad \text{Ecohesión} = \frac{2c}{\sqrt{N\phi}}$$

Cálculo de las fuerzas totales en cada caso, como se sabe la fuerza total de una carga distribuida es su área, aplicada en su centro de gravedad tal como se aprecia en la fig.N°4.10. La fuerza total ejercida por el suelo:

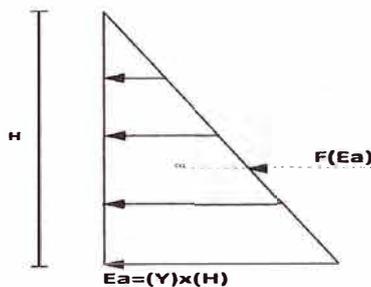


Figura N°4.10.- Diagrama de fuerza distribuida total ejercida por el suelo

$$F(Ea) = \left(\frac{\gamma(H)}{N\phi} \right) \cdot \left(\frac{H}{2} \right) = \frac{\gamma(H^2)}{2N\phi} = \frac{\gamma(H^2)Ka}{2}$$

La fuerza total ejercida por la sobre carga se aprecia en la fig.N°4.11.

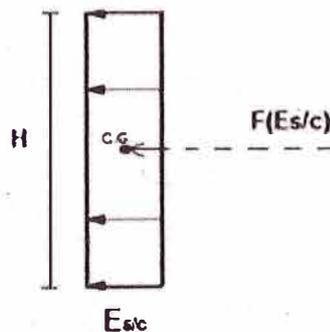


Figura N°4.11.-Diagrama de fuerza distribuida total ejercida por la sobrecarga

$$F(E_{s/c}) = \left(\frac{s/c}{N\phi}\right) \cdot (H) = s/c \cdot (H)(Ka) = q(H)(Ka)$$

La fuerza total ejercida por la cohesión se muestra en la fig. N°4.12.

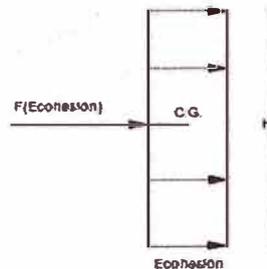


Figura N°4.12.-Diagrama de fuerza distribuida total ejercida por la cohesión

$$F(E_{cohesión}) = \left(\frac{2c}{\sqrt{N\phi}}\right) \cdot (H) = (2c\sqrt{Ka}) \cdot H$$

La fuerza total que se desprecia indica que la fuerza de cohesión del terreno es mayor que la suma de fuerzas del suelo y la sobrecarga, por tal motivo no se produce empuje en esta zona tal como se muestra en la fig. N°4.13.

$$F_{despreciada} = \frac{(2c\sqrt{N\phi} - q)^2}{2\gamma(N\phi)}$$

La fuerza total resultante es:

$$Fr = \frac{\gamma H^2}{2(N\phi)} + \frac{(s/c)H}{N\phi} - \frac{(2c\sqrt{N\phi} - q)^2}{2\gamma(N\phi)}$$

El punto de aplicación de la fuerza total resultante es:

$$Y = \frac{(H - Z_0)}{3}$$

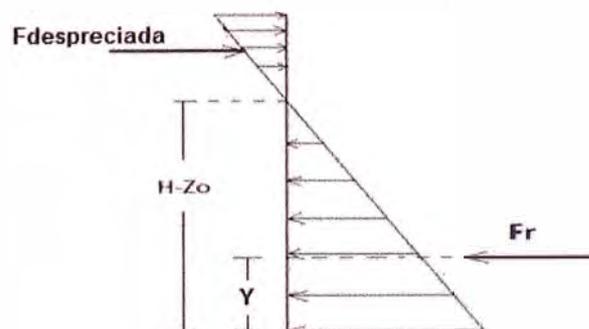


Figura N°4.13.-Diagrama resultante de fuerzas en un suelo cohesivo

Se calculan las fuerzas verticales que actúan sobre la calzadura tal como se muestra en la figura N°4.14.

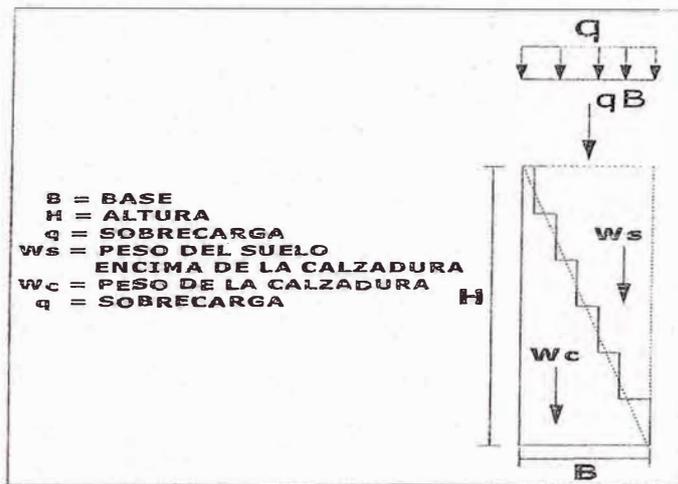


Fig.Nº4.14.-Esquema de las fuerzas verticales que actúan sobre la calzada

En algunos casos para facilitar los cálculos se asume que la mitad del rectángulo es concreto ciclópeo y la otra mitad es suelo

γ_s = Peso unitario del suelo

γ_c = Peso unitario del concreto ciclópeo

q_t = Fuerza total de la carga distribuida

$$W_s = \gamma_s \frac{(H)(B)}{2}$$

$$W_c = \gamma_c \frac{(H)(B)}{2}$$

$$q_t = qB$$

Después de analizar las principales fuerzas, observar las posiciones donde se aplican las fuerzas totales sobre la calzada, tal como se muestra en la fig. Nº4.15.

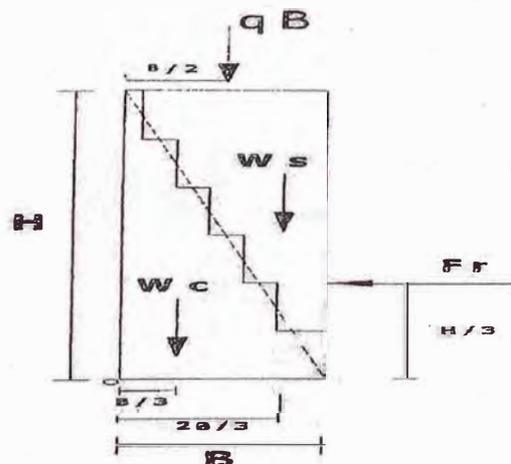


Figura Nº4.15.-Digrama de fuerzas verticales que actúan sobre la calzada

Los factores de seguridad que deben cumplir en el diseño de la calzada son:

- Factor de seguridad al volteo. $FSV \geq 2 - 3$
- Factor de seguridad al deslizamiento $FSD \geq 1.5 - 2$
- Factor de seguridad de capacidad de carga. $FSCC \geq 3$

Para hallar los factores de seguridad se toma momentos que equilibren las fuerzas horizontales con las fuerzas verticales, el punto donde se toma momentos es el punto de giro "O" tal como se muestra en la fig. N°4.16

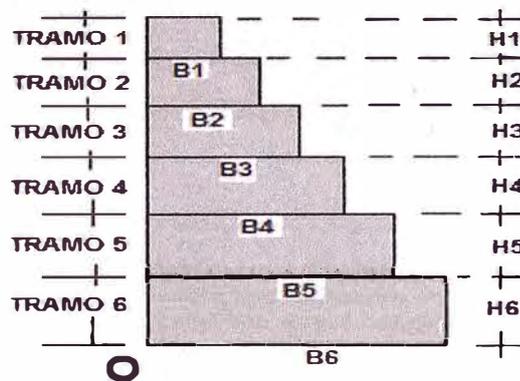


Fig.N°4.16.- "O" es el punto de giro donde se toman los momentos que equilibran las fuerzas horizontales y verticales

FACTOR DE SEGURIDAD AL VOLTEO

ΣM_o = Suma de los momentos actuantes de las fuerzas que tienden a volcar la estructura respecto al punto "O".

ΣM_r = Suma de las fuerzas resistentes horizontales (En nuestra calzada sería fuerza de rozamiento).

$$FSV = \frac{\Sigma M_r}{\Sigma M_o}$$

FACTOR DE SEGURIDAD AL DESPLAZAMIENTO

ΣF_r = Suma de las fuerzas actuantes horizontales debido al empuje.

ΣF_d = Suma de los momentos resistentes con respecto al punto "O".

$$FSD = \frac{\sum Fr}{\sum Fd}$$

FACTOR DE SEGURIDAD A LA CAPACIDAD DE CARGA

q_u = Capacidad de carga última por corte (Terzaghi, Vesic)

$q_{m\acute{a}x.}$ = Capacidad de carga del terreno.

$$FSCC = \frac{q_u}{q_{max(Tal\acute{o}n,punta)}}$$

4.2.5 Suelos sin cohesión

El diagrama de empuje total de un suelo sin cohesión sobre la calzadura está dado por la suma del diagrama de presiones del suelo y la sobre carga, tal como se aprecia en la figura N°4.17, estos empujes son analizados por la teoría de Rankine en el estado activo.

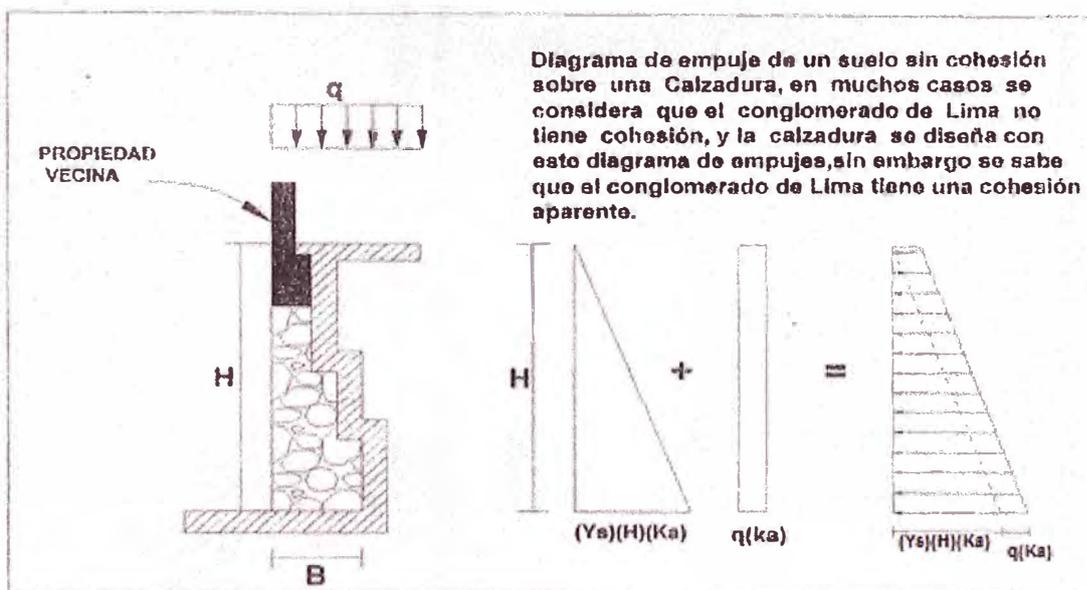


Figura N°4.17.-Distribución de fuerzas de un suelo sin cohesión en la calzadura

El análisis del diseño de una calzadura sin cohesión se realiza tramo por tramo, la primera fila de la calzadura estará sometida a empujes del suelo y sobrecarga, luego de calcular todas las fuerzas, se cumple con los factores de volteo y deslizamiento, se calcula el ancho inicial a calzar "B", después se debe cumplir con el factor de capacidad de carga y se tendrá el "B" de diseño.

El tramo 1 es el primer bloque de calzadura y tiene ancho inicial "B1", tal como se muestra en la fig.N°4.18., el tramo 2 es el bloque de la segunda fila, el tramo 3 es el de la tercera fila y así sucesivamente.

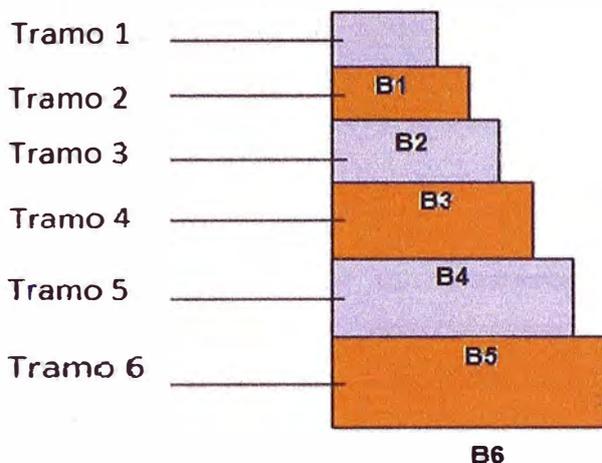


Figura N°4.18.-Tramos de calzaduras para realizar el diseño

TRAMO 1

Una vez hallado las fuerzas y sus posiciones como se muestra en la fig.N°4.19, debemos verificar que se cumpla los factores de seguridad de volteo y deslizamiento.

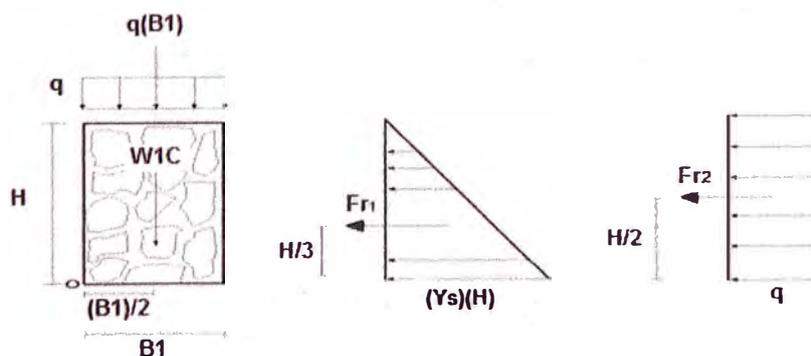


Figura N°4.19.-Distribución de fuerzas del primer tramo

Para comprobar el factor de seguridad al volteo se debe tomar los momentos, estos momentos se aplican con respecto al punto "O", las fuerzas y el brazo de giro se muestran en la tabla N°4.3 , el primer tramo de la calzadura tendrá como base B1

Tabla N°4.3.- Fuerzas verticales, horizontales y brazo del giro para el tramo 1

		FUERZA VERTICAL	BRAZO
W1C	PESO DEL CONCRETO	$(\gamma_c)(B)(H)$	$B/2$
	SOBRECARGA	$(q)(B)$	$B/2$
FUERZA HORIZONTAL			
FR1	EMPUJE DE TIERRA	$(\gamma_s)(H) \cdot (H)/2$	$H/3$
FR2	SOBRECARGA	$(q)(H)$	$H/2$

TRAMO 2

En este tramo la fuerza del suelo se va incrementando, las fuerzas verticales también van aumentando como W1C (peso del concreto) y WS1 (peso del suelo) como se muestra en la figura N°4.20.

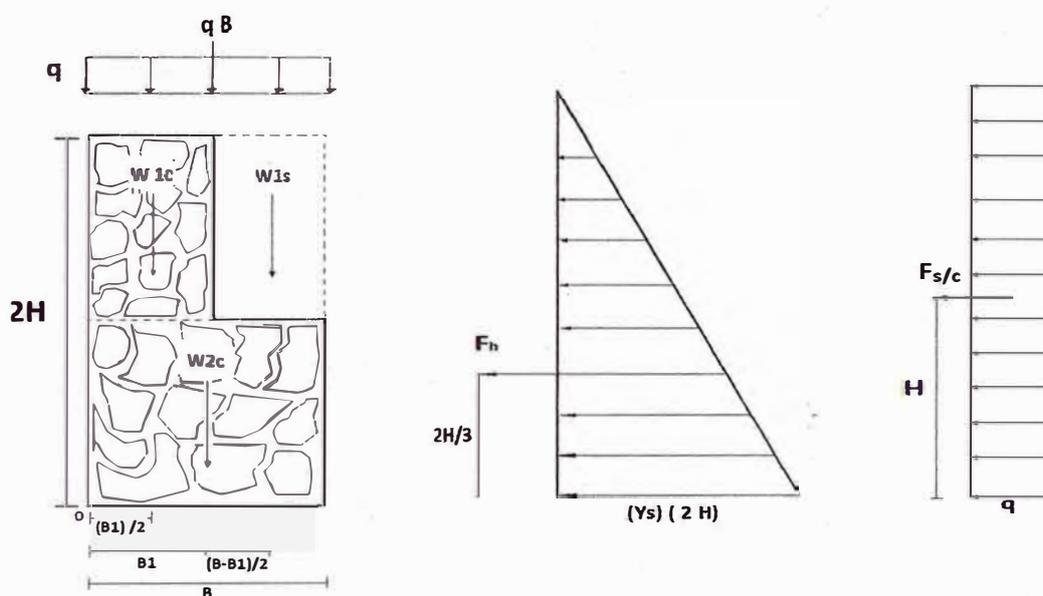


Figura N°4.20.-Distribución de fuerzas del segundo tramo

En el tramo 2 las fuerzas y el brazo de giro con respecto al punto "O", se aprecian en la tabla N°4.4, para el segundo tramo la base será B2.

Tabla N°4.4.- Fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro para el tramo 2

		FUERZA VERTICAL	BRAZO
W1C	PESO DEL CONCRETO	$(\gamma_c)(B1)(H)$	$B1/2$
W2C	PESO DEL CONCRETO	$(\gamma_c)(B)(H)$	$B/2$
	SOBRECARGA	$(q)(B)$	$B/2$
WS1	PESO DEL SUELO	$(\gamma_s)(H)(B-B1)$	$(B+B1)/2$
FUERZA HORIZONTAL			
Fh	EMPUJE DE TIERRA	$(\gamma_s)(2H)(H)$	$2H/3$
F s/c	SOBRECARGA	$(q)(2H)$	H

TRAMO 3

En el tercer tramo del diagrama de fuerzas verticales y horizontales se muestran en la fig.N°4.21

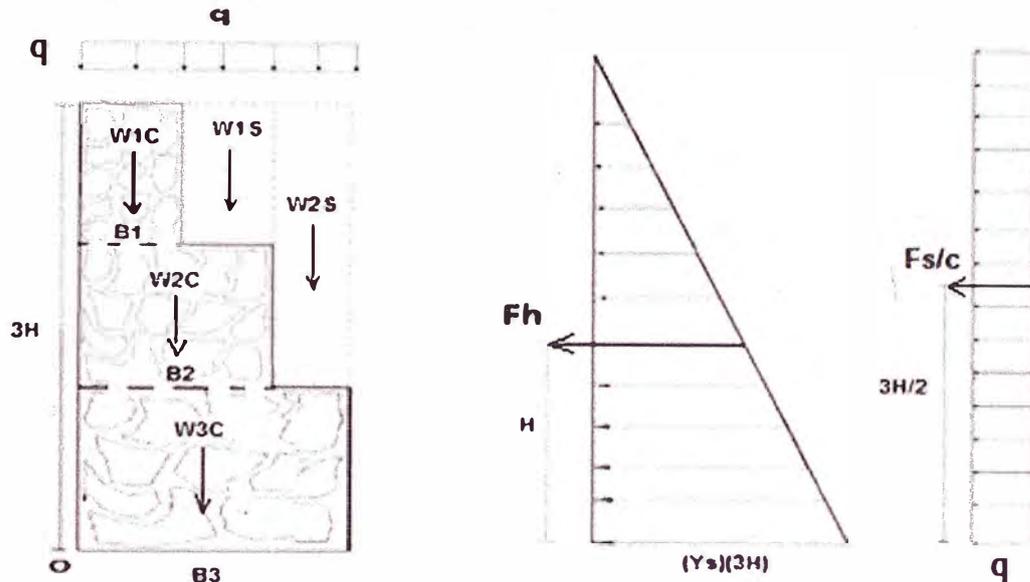


Figura N°4.21.-Distribución de fuerzas del tercer tramo

En el tramo 3 las fuerzas y el brazo de giro con respecto al punto "O" se muestran en la tabla N°4.5, para el tercer tramo la base será B3.

Tabla N°4.5.- Fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro para el tramo 3

		FUERZA VERTICAL	BRAZO
W1C	PESO DEL CONCRETO	$(Y_c)(B_1)(H)$	$B_1/2$
W2C	PESO DEL CONCRETO	$(Y_c)(B_2)(H)$	$B_2/2$
W3C	PESO DEL CONCRETO	$(Y_c)(B)(H)$	$B/2$
	SOBRECARGA	$(q)(B)$	$B/2$
WS1	PESO DEL SUELO	$(Y_s)(H)(B_2-B_1)$	$(B_2+B_1)/2$
WS2	PESO DEL SUELO	$(Y_s)(2H)(B-B_2)$	$(B+B_2)/2$

		FUERZA HORIZONTAL	BRAZO
Fh	EMPUJE DE TIERRA	$(Y_s)(3H).(3H)/2$	H
F s/c	SOBRECARGA	$(q)(3H)$	$3H/2$

TRAMO 4

En el cuarto tramo el diagrama de fuerzas verticales y horizontales que actúan en la calzadura se muestra en la fig. N°4.22.

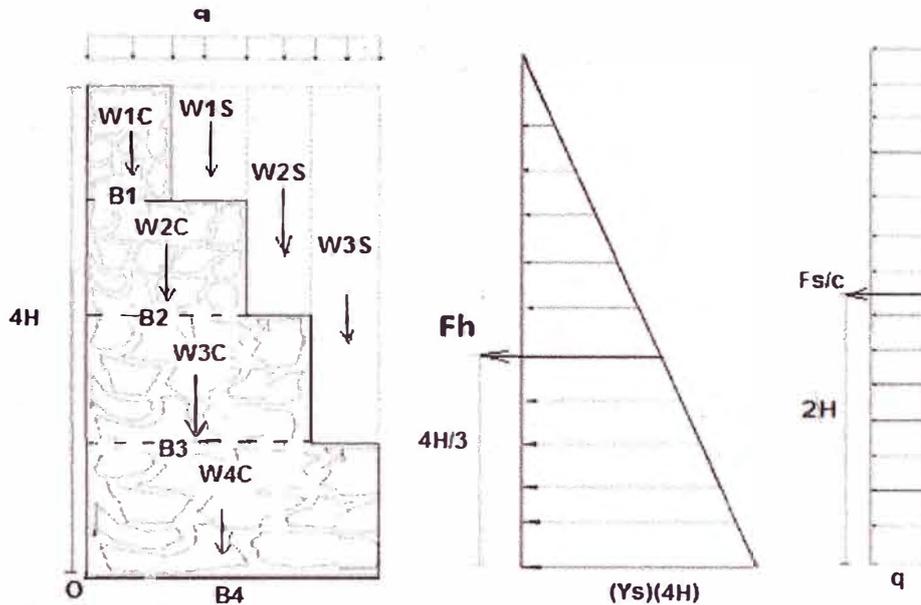


Figura N°4.22.-Distribución de fuerzas del cuarto tramo

En el tramo 4 las fuerzas y el brazo de giro con respecto al punto "O" se muestran en la tabla N°4.6, para el tercer tramo la base será B4.

Tabla N°4.6.- Fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro para el tramo 4

		FUERZA VERTICAL	BRAZO
W1C	PESO DEL CONCRETO	$(Y_c)(B_1)(H)$	$B_1/2$
W2C	PESO DEL CONCRETO	$(Y_c)(B_2)(H)$	$B_2/2$
W3C	PESO DEL CONCRETO	$(Y_c)(B_3)(H)$	$B_3/2$
W4C	PESO DEL CONCRETO	$(Y_c)(B)(H)$	$B/2$
	SOBRECARGA	$(q)(B)$	$B/2$
WS1	PESO DEL SUELO	$(Y_s)(H)(B_2-B_1)$	$(B_2+B_1)/2$
WS2	PESO DEL SUELO	$(Y_s)(2H)(B_3-B_2)$	$(B_3+B_2)/2$
WS3	PESO DEL SUELO	$(Y_s)(3H)(B-B_3)$	$(B+B_3)/2$
		FUERZA HORIZONTAL	BRAZO
Fh	EMPUJE DE TIERRA	$(Y_s)(4H)(2H)$	$4H/3$
F s/c	SOBRECARGA	$(q)(4H)$	$2H$

TRAMO 5

En el quinto tramo el diagrama de fuerzas verticales y horizontales que actúan en la calzadura se muestra en la fig. N°4.23.

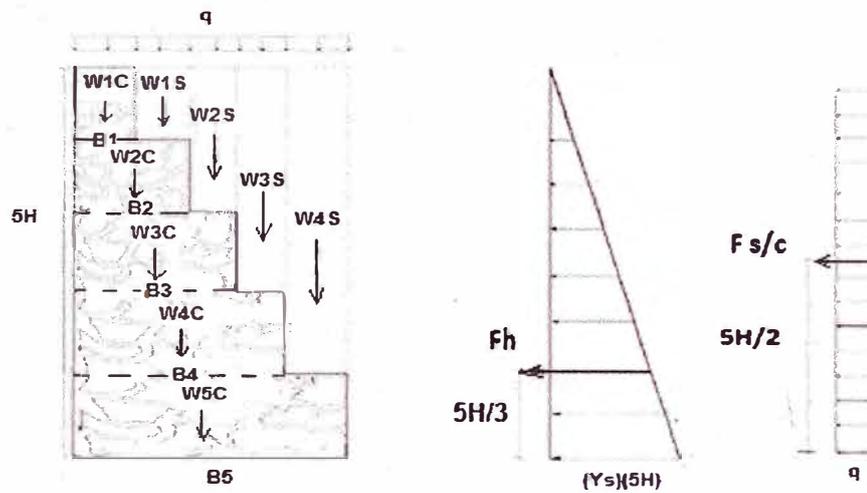


Figura N°4.23.-Distribución de fuerzas del quinto tramo.

En el tramo 5 las fuerzas y el brazo de giro con respecto al punto "O" se muestran en la tabla N°4.7, para el quinto tramo la base será B5.

Tabla N°4.7.- Fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro para el tramo 5

		FUERZA VERTICAL	BRAZO
W1C	PESO DEL CONCRETO	$(Y_c)(B_1)(H)$	$B_1/2$
W2C	PESO DEL CONCRETO	$(Y_c)(B_2)(H)$	$B_2/2$
W3C	PESO DEL CONCRETO	$(Y_c)(B_3)(H)$	$B_3/2$
W4C	PESO DEL CONCRETO	$(Y_c)(B_4)(H)$	$B_4/2$
W5C	PESO DEL CONCRETO	$(Y_c)(B)(H)$	$B/2$
	SOBRECARGA	$(q)(B)$	$B/2$
WS1	PESO DEL SUELO	$(Y_s)(H)(B_2-B_1)$	$(B_2+B_1)/2$
WS2	PESO DEL SUELO	$(Y_s)(2H)(B_3-B_2)$	$(B_3+B_2)/2$
WS3	PESO DEL SUELO	$(Y_s)(3H)(B_4-B_3)$	$(B_4+B_3)/2$
WS4	PESO DEL SUELO	$(Y_s)(4H)(B-B_4)$	$(B+B_4)/2$

		FUERZA HORIZONTAL	BRAZO
Fh	EMPUJE DE TIERRA	$(Y_s)(5H) \cdot (5H)/2$	$5H/3$
F s/c	SOBRECARGA	$(q)(5H)$	$5H/2$

TRAMO 6

En el sexto tramo el diagrama de fuerzas verticales y horizontales que actúan en la calzadura se muestra en la fig. N°4.24.

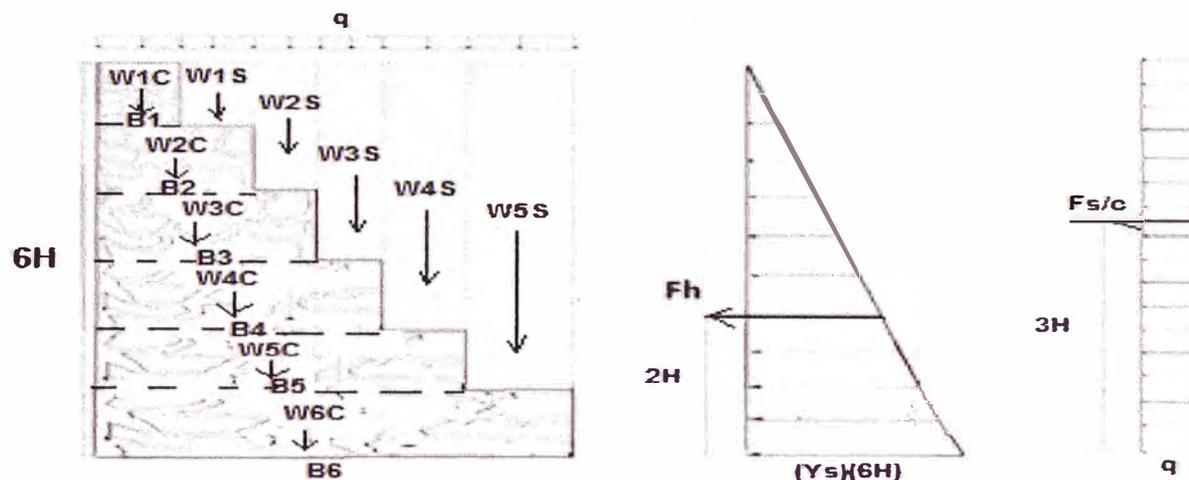


Figura N°4.24.-Distribución de fuerzas del sexto tramo

En el tramo 6 las fuerzas y el brazo de giro con respecto al punto "O" se muestran en la tabla N°4.8, para el sexto tramo la base será B6.

Tabla N°4.8.- Fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro para el tramo 6

		FUERZA VERTICAL	BRAZO
W1C	PESO DEL CONCRETO	$(\gamma_c)(B_1)(H)$	$B_1/2$
W2C	PESO DEL CONCRETO	$(\gamma_c)(B_2)(H)$	$B_2/2$
W3C	PESO DEL CONCRETO	$(\gamma_c)(B_3)(H)$	$B_3/2$
W4C	PESO DEL CONCRETO	$(\gamma_c)(B_4)(H)$	$B_4/2$
W5C	PESO DEL CONCRETO	$(\gamma_c)(B_5)(H)$	$B_5/2$
W6C	PESO DEL CONCRETO	$(\gamma_c)(B)(H)$	$B/2$
	SOBRECARGA	$(q)(B)$	$B/2$
WS1	PESO DEL SUELO	$(\gamma_s)(H)(B_2-B_1)$	$(B_2+B_1)/2$
WS2	PESO DEL SUELO	$(\gamma_s)(2H)(B_3-B_2)$	$(B_3+B_2)/2$
WS3	PESO DEL SUELO	$(\gamma_s)(3H)(B_4-B_3)$	$(B_4+B_3)/2$
WS4	PESO DEL SUELO	$(\gamma_s)(4H)(B_5-B_4)$	$(B_5+B_4)/2$
WS5	PESO DEL SUELO	$(\gamma_s)(5H)(B-B_5)$	$(B+B_5)/2$

		FUERZA HORIZONTAL	BRAZO
Fh	EMPUJE DE TIERRA	$(\gamma_s)(6H)(3H)$	$2H$
F s/c	SOBRECARGA	$(q)(6H)$	$3H$

DISEÑO DE CALZADURA APLICADA A LA OBRA

Edificación: Multifamiliar de 5 pisos, sótano y semisótano

Longitud lado derecho: 25 m divididos en dos segmentos

- Primer segmento: 15 m (con una altura de 6.50 m)
- Segundo segmento: 10 m (con una altura de 5.80 m)

γ_s = Peso unitario del suelo = 2.1 t/m³

γ_c = Peso unitario del concreto = 1.8 t/m³

Cohesión = 0

q = Sobrecarga del edificio vecino de cinco pisos = 6.5 t/m²

ϕ = Angulo de fricción = 33.3°

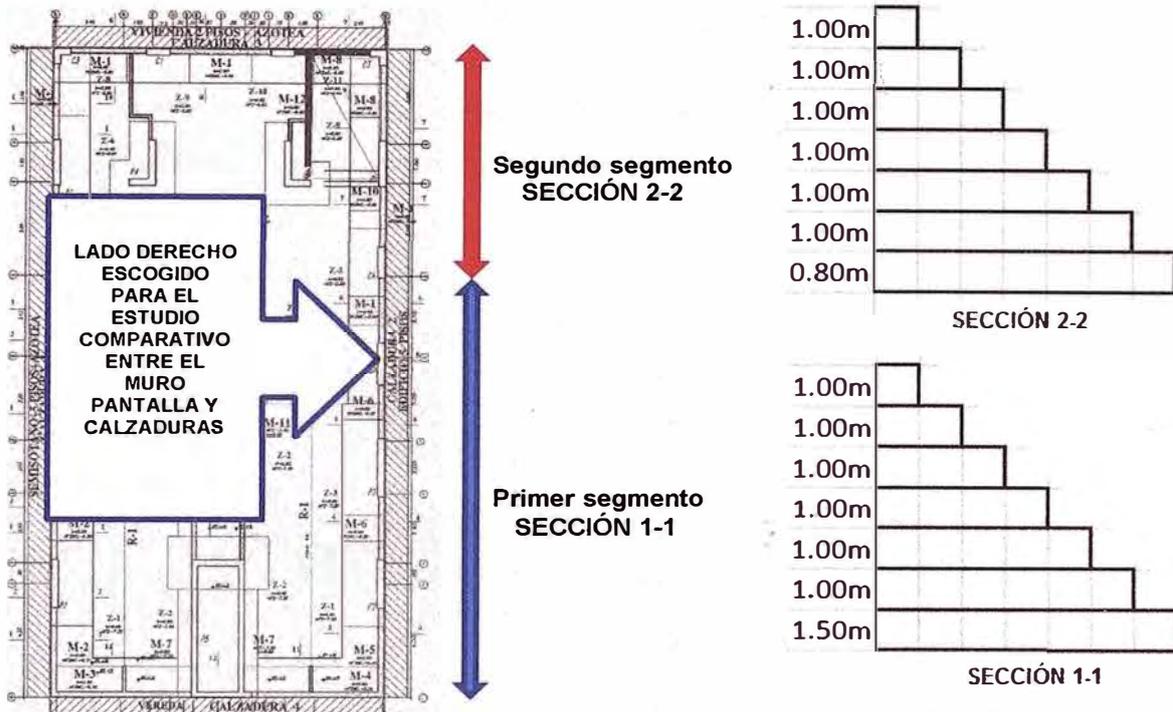


Figura N°4.25.-Plano de cimentación y secciones de calzaduras

La calzadura en un suelo sin cohesión solamente está afectada por la fuerza del suelo y sobrecarga. Las fuerzas horizontales serán afectadas por el coeficiente activo de la teoría de Rankine.

El ancho y la altura de los bloques cumplen un aspecto constructivo y técnico, considerando el tipo de suelo y el tipo de cimentación que se está calzando. Si el suelo es muy deleznable, no cohesivo o poco compacto, los bloques tendrán que ser más pequeños, de manera de no desestabilizar la cimentación, en el caso de tener un suelo tipo conglomerado se recomienda que la altura y el ancho varíen de 1.00m a 1.50m.

Para la aplicación en el diseño de calzada, se asumirán las secciones mostradas en la figura N°4.25.

Los factores de seguridad que se deben cumplir en el diseño de la calzada son:

- Factor de seguridad al volteo. $FSV \geq 3$
- Factor de seguridad al deslizamiento $FSD \geq 2$
- Factor de seguridad de capacidad de carga. $FSCC \geq 3$

Es importante cumplir con el factor de seguridad de capacidad de carga en cada tramo del diseño, no solo en el último tramo de la calzada como usualmente se realiza.

En el tramo 1, el diagrama de fuerzas distribuidas que afectan la calzada y las fuerzas totales con su respectivo brazo de giro se muestran en la fig. N°4.19 y la tabla N°4.9

TRAMO 1

Tabla N°4.9.- Valores de fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro del tramo 1

		FUERZA VERTICAL	BRAZO
W1C	PESO DEL CONCRETO	1.8xB1	0.5xB1
	SOBRECARGA	6.5xB1	0.5xB1

		FUERZA HORIZONTAL	BRAZO
FR1	EMPUJE DE TIERRA	1.05	0.33
FR2	SOBRECARGA	6.50	0.50

Calculando $K_a = [(\tan(45^\circ - 0.5\phi))]^2$ reemplazando el valor del ángulo de fricción:

$$K_a = [\tan(45^\circ - 0.5 \times 33.3^\circ)]^2, \quad \text{luego: } K_a = 0.29$$

Se obtiene B1 haciendo cumplir los factores de seguridad al volteo y deslizamiento, las fuerzas horizontales serán afectadas por el coeficiente de presión activa de la teoría de Rankine.

a) FSV = Factor de seguridad al volteo

$$FSV = \frac{\sum M_r}{\sum M_o} \geq 3$$

$\sum M_r$ = Suma de los momentos actuantes que tienden a volcar la estructura al punto "O"

$\sum M_o$ = Suma de los momentos resistentes con respecto al punto "O".

Reemplazando valores de la tabla:

$$\Sigma Mr = 1.8 \times B1 \times 0.5 \times B1 + 6.5 \times B1 \times 0.5 \times B1 = 4.15 \times B1^2$$

$$\Sigma Mo = 1.05 \times 0.33 + 6.5 \times 0.5 = 3.60 \quad \text{Reemplazando en la inecuación:}$$

$$FSV = \frac{4.15 \times B1^2}{3.60 \times Ka} \geq 3 \quad \text{entonces:} \quad B1 \geq 0.87 \text{ m}$$

b) FSD = Factor de seguridad al deslizamiento ≥ 2

$$FSD = \frac{\Sigma Fr}{\Sigma Fd} \geq 2$$

ΣFr = Suma de las fuerzas horizontales (en nuestra calzada será la fuerza de rozamiento).

ΣFd = Suma de las fuerzas actuantes horizontales debido al empuje.

$$u = \tan(\phi) = \tan(33.3^\circ) = 0.6569$$

$$FSD = \frac{8.3 \times B1 \times u}{7.55 \times Ka} \geq 2$$

$$B1 = 0.80 \text{ m} \quad \text{elegiremos:} \quad \mathbf{B1 = 0.90 \text{ m}}$$

c) Verificando el cumplimiento de seguridad de carga.

$$e \leq \frac{B}{2} - \left[\frac{\Sigma Mr - \Sigma Mo}{\Sigma(FV)} \right]$$

ΣFr = Suma de Momentos que tienden a resistir el volteo.

ΣFd = Suma de momentos que tienden a volcar la estructura.

ΣFV = Suma de fuerzas verticales.

Se calcula la excentricidad "e" y se debe cumplir que: $e \leq \frac{B}{6}$, con $B1 = 0.9 \text{ m}$

$$\Sigma Mr = 4.15 \times (B1)^2 = 3.36$$

$$\Sigma Mo = 3.60 \times (Ka) = 1.04$$

$$\Sigma FV = 8.3 \times B1 = 7.47$$

$$B/6 = 0.90/6 = 0.15$$

$$e \leq \frac{0.9}{2} - \frac{3.36 - 1.04}{7.47}$$

$$\mathbf{e = 0.14 \text{ m} < \frac{B}{6} = 0.15 \text{ m} \quad \text{cumple!}}$$

d) Cálculo de q en la punta y talón:

$$q(\text{punta, talon}) = \frac{\sum Fv}{B} \left[1 \pm \frac{6e}{B} \right]$$

$$q_{\text{punta}} = 16.02 \text{ t/m}^2$$

$$q_{\text{talón}} = 0.58 \text{ t/m}^2$$

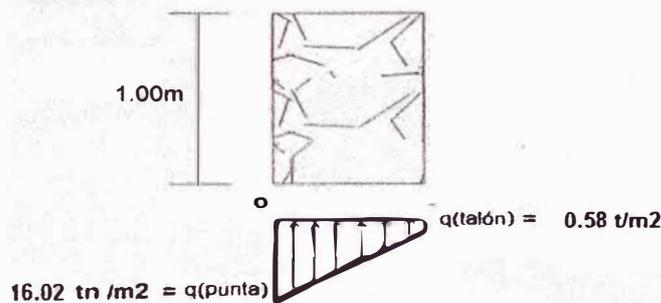


Figura N°4.26.-Digrama de presión del suelo sobre el primer tramo

e) Capacidad de carga: q (último)

De acuerdo a la teoría de la capacidad de carga presentada por Terzaghi (1943) evalúa las cimentaciones.

$$q_{\text{(último)}} = cN_c S_c + q_o N_q + 0.5 B Y_s N_y S_y$$

N_c, N_q, N_y = Factores de capacidad de carga adimensionales que son únicamente funciones del ángulo de fricción " ϕ "

c = Cohesión

Y_s = Peso unitario del suelo

B = Base de la cimentación

$q_o = (Y_s) D_f$

D_f = Altura media desde la superficie hasta el fondo de la cimentación

$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi}$$

$$N_c = (N_q + 1) \cot \phi$$

$$N_y = 2 (N_q + 1) \tan \phi$$

Para el ángulo de fricción $\phi = 33^\circ$, se utilizará la tabla N° 4.15, donde hallamos los factores de capacidad de carga (Valores que se utilizarán en los demás tramos):

$$N_c = 38.64$$

$$N_q = 26.09$$

$$N_\gamma = 35.19$$

Se considera la calzada como cimiento corrido entonces: $S_c = S_\gamma = 1$ (Valores que se usarán en los siguientes tramos)

$$Y_s = 2.1 \text{ t/m}^3$$

$$B = 0.90 \text{ m}$$

$q_o = (Y_s) (D_f) = 2.1(1.00) = 2.1$, luego reemplazamos en la fórmula de Terzaghi:

$$q (\text{último}) = 0 \times 38.64 \times 1 + 2.10 \times 26.09 + 0.5 \times 0.9 \times 2.1 \times 35.19 \times 1 = 88.04 \text{ t/m}^2$$

Verificando: FSCC = Factor de seguridad de capacidad de carga

$$FSCC = \frac{q(\text{último})}{q(\text{punta})} \geq 3$$

$$FSCC = \frac{88.04}{16.02} = 5.50 \geq 3 \quad \text{cumple!!}$$

Luego para el primer tramo los tres factores de seguridad cumplen, por lo tanto:

$$B_1 = 0.90 \text{ m}$$

TRAMO 2

En el segundo tramo se realiza en procedimiento análogo al primero, pero con la variante que la distribución de fuerzas es mayor como se puede apreciar en la figura N°4.20 y la tabla N°4.10:

Tabla N°4.10.- Valores de fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro del tramo 2

		FUERZA VERTICAL	BRAZO
W1C	PESO DEL CONCRETO	1.62	0.45
W2C	PESO DEL CONCRETO	1.8xB2	0.5xB2
	SOBRECARGA	6.5xB2	0.5xB2
WS1	PESO DEL SUELO	2.1x(B2-0.9)	(B2+0.9)/2

		FUERZA HORIZONTAL	BRAZO
Fh	EMPUJE DE TIERRA	4.20	0.67
F s/c	SOBRECARGA	13.00	1.00

a) FSV = Factor de seguridad al volteo

$$FSV = \frac{\sum M_r}{\sum M_o} \geq 3$$

Reemplazando valores de la tabla se obtiene lo siguiente con $B=B_2$:

$$\sum M_r = 5.20(B_2)^2 - 0.12$$

$$\sum M_o = 15.81 \quad \text{reemplazando en la inecuación: } B_2 \geq 1.63 \text{ m}$$

b) FSD = Factor de seguridad al deslizamiento ≥ 2

$$FSD = \frac{\sum Fr}{\sum Fd} \geq 2$$

$$u = \tan(\phi) = \tan(33.3^\circ) = 0.6569$$

$$FSD = \frac{(10.40B2 - 0.27)u}{17.20(Ka)} \geq 2 \quad B2 \geq 1.49 \text{ m}$$

Elegiremos: **B2 = 1.65 m**

c) Verificando el cumplimiento de seguridad de carga.

$$e \leq \frac{B}{2} - \left[\frac{\sum Mr - \sum Mo}{\sum (FV)} \right]$$

Se calcula la excentricidad "e" y se debe cumplir que: $e \leq \frac{B}{6}$
con B2 = 1.65 m

$$\sum Mr = 5.20 \times (B2)^2 - 0.12 = 14.04$$

$$\sum Mo = 15.81 \times (Ka) = 4.58$$

$$\sum FV = 10.40 \times B2 - 0.27 = 16.89$$

$$B/6 = 1.65/6 = 0.275$$

$$e \leq \frac{1.65}{2} - \frac{14.04 - 4.58}{16.89}$$

$$e = 0.265 \text{ m} < \frac{B}{6} = 0.275 \text{ m} \quad \text{cumple!}$$

d) Cálculo de q en la punta y talón:

$$q(\text{punta, talon}) = \frac{\sum Fv}{B} \left[1 \pm \frac{6e}{B} \right]$$

$$q(\text{punta, talon}) = \frac{16.89}{1.65} \left[1 \pm \frac{6 \times 0.265}{1.65} \right]$$

$$q_{\text{punta}} = 20.07 \text{ t/m}^2$$

$$q_{\text{talón}} = 0.41 \text{ t/m}^2$$

e) Capacidad de carga: q (último)

$$q(\text{último}) = cN_c S_c + q_o N_q + 0.5 B Y_s N_y S$$

$$Y_s = 2.1 \text{ t/m}^3$$

$$B2 = 1.65 \text{ m}$$

$$q_o = (Y_s) (D_f/2) = 2.1(2.00/2) = 2.1, \text{ reemplazamos en la fórmula de Terzaghi:}$$

$$q \text{ (último)} = 0 \times 38.64 \times 1 + 2.1 \times 26.09 + 0.5 \times 1.65 \times 2.1 \times 35.19 \times 1 = 115.76 \text{ t/m}^2$$

Verificando FSCC=Factor de seguridad de capacidad de carga:

$$FSCC = \frac{q(\text{último})}{q(\text{punta})} \geq 3$$

$$FSCC = \frac{115.76}{20.07} = 5.76 \geq 3 \quad \text{CUMPLE !}$$

Luego para el segundo tramo los tres factores de seguridad cumplen, por lo tanto:

$$B2 = 1.65 \text{ m}$$

TRAMO 3: Considerando Figura N°4.21

Considerando la figura N°4.21

Tabla N°4.11.- Valores de fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro del tramo 3

		FUERZA VERTICAL	BRAZO
W1C	PESO DEL CONCRETO	1.62	0.45
W2C	PESO DEL CONCRETO	2.97	0.83
W3C	PESO DEL CONCRETO	1.8xB3	0.5xB3
	SOBRECARGA	6.5xB3	0.5xB3
WS1	PESO DEL SUELO	1.58	1.28
WS2	PESO DEL SUELO	4.2(B3-1.65)	(B3+1.65)/2

		FUERZA HORIZONTAL	BRAZO
Fh	EMPUJE DE TIERRA	9.45	1.00
F s/c	SOBRECARGA	19.50	1.50

a) **FSV = Factor de seguridad al volteo**

$$FSV = \frac{\sum M_r}{\sum M_o} \geq 3$$

Reemplazando valores de la tabla se obtiene lo siguiente con B=B3:

$$\sum M_r = 6.25(B3)^2 - 0.50$$

$$\sum M_o = 38.70 \quad \text{reemplazando en la inecuación: } B3 \geq 2.34 \text{ m}$$

b) **FSD = Factor de seguridad al deslizamiento ≥ 2**

$$u = \tan(\phi) = \tan(33.3^\circ) = 0.6569$$

$$FSD = \frac{(12.50B3 - 0.76)u}{28.95(Ka)} \geq 2 \quad \text{entonces: } B3 \geq 2.11 \text{ m}$$

Elegiremos: $B3 = 2.40 \text{ m}$

c) Verificando el cumplimiento de seguridad de carga.

$$e \leq \frac{B}{2} - \left[\frac{\sum Mr - \sum Mo}{\sum (FV)} \right]$$

Se calcula la excentricidad "e" y se debe cumplir que: $e \leq \frac{B}{6}$
con B3 = 2.40 m

$$\sum Mr = 6.25 \times (B3)^2 - 0.50 = 35.50$$

$$\sum Mo = 38.70 \times (Ka) = 11.22$$

$$\sum FV = 12.50 \times B3 - 0.76 = 29.24$$

$$B/6 = 2.40/6 = 0.40$$

$$e = \frac{2.40}{2} - \frac{35.50 - 11.22}{29.24} \quad e = 0.37 \text{ m}$$

$$e = 0.37 \text{ m} < \frac{B}{6} = 0.40 \text{ m} \quad \text{cumple!}$$

d) Cálculo de q en la punta y talón:

$$q(\text{punta, talon}) = \frac{\sum Fv}{B} \left[1 \pm \frac{6e}{B} \right]$$

$$q(\text{punta, talon}) = \frac{29.24}{2.40} \left[1 \pm \frac{6 \times 0.37}{2.40} \right]$$

$$q_{\text{punta}} = 23.51 \text{ t/m}^2$$

$$q_{\text{talón}} = 0.85 \text{ t/m}^2$$

e) Capacidad de carga: q (último)

$$q(\text{último}) = cN_c S_c + q_o N_q + 0.5 B Y_s N_y S_y$$

$$Y_s = 2.1 \text{ t/m}^3$$

$$B3 = 2.40 \text{ m}$$

$q_o = (Y_s) (D_f/2) = 2.1(3.00/2) = 3.15$, luego reemplazamos en la fórmula de Terzaghi:

$$q(\text{último}) = 0 \times 38.64 \times 1 + 3.15 \times 26.09 + 0.5 \times 2.1 \times 2.40 \times 35.19 \times 1 = 170.86 \text{ t/m}^2$$

Verificando FSCC=Factor de seguridad de capacidad de carga :

$$FSCC = \frac{q(\text{último})}{q(\text{punta})} \geq 3$$

$$FSCC = \frac{170.86}{23.51} = 7.27 \geq 3 \quad \text{CUMPLE!}$$

Luego para el tercer tramo los tres factores de seguridad cumplen, por lo tanto:

$$B3 = 2.40 \text{ m}$$

TRAMO 4: Considerando figura N°4.22

Tabla N°4.12.- Valores de fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro del tramo 4

		FUERZA VERTICAL	BRAZO
W1C	PESO DEL CONCRETO	1.62	0.45
W2C	PESO DEL CONCRETO	2.97	0.83
W3C	PESO DEL CONCRETO	4.32	1.20
W4C	PESO DEL CONCRETO	1.8xB4	0.5xB4
	SOBRECARGA	6.5xB4	0.5xB4
WS1	PESO DEL SUELO	1.58	1.28
WS2	PESO DEL SUELO	3.15	2.03
WS3	PESO DEL SUELO	6.3(B4-2.4)	(B4+2.4)/2

		FUERZA HORIZONTAL	BRAZO
Fh	EMPUJE DE TIERRA	16.80	1.33
F s/c	SOBRECARGA	26.00	2.00

a) FSV = Factor de seguridad al volteo

$$FSV = \frac{\sum Mr}{\sum Mo} \geq 3$$

Reemplazando valores de la tabla se obtiene lo siguiente con B=B4:

$$\sum Mr = 7.30(B4)^2 - 1.34$$

$$\sum Mo = 74.34 \quad \text{reemplazando en la inecuación: } B4 \geq 3.01 \text{ m}$$

b) FSD = Factor de seguridad al deslizamiento ≥ 2

$$u = \tan(\phi) = \tan(33.3^\circ) = 0.6569$$

$$FSD = \frac{(14.6B4 - 1.48)u}{42.80(Ka)} \geq 2 \quad B4 = 2.69$$

Elegiremos: **B4 = 3.05 m**

c) Verificando el cumplimiento de seguridad de carga.

$$e \leq \frac{B}{2} - \left[\frac{\sum Mr - \sum Mo}{\sum(FV)} \right]$$

Se calcula la excentricidad "e" y se debe cumplir que: $e \leq \frac{B}{6}$

con B4 = 3.05 m

$$\Sigma Mr = 7.3 \times (B4)^2 - 1.34 = 66.57$$

$$\Sigma Mo = 74.34 \times (Ka) = 21.56$$

$$\Sigma FV = 14.6 \times B4 - 1.48 = 43.05$$

$$B/6 = 3.05/6 = 0.51$$

$$e = \frac{3.05}{2} - \frac{66.57 - 21.56}{43.05} \quad e = 0.48 \text{ m}$$

$$e = 0.48 \text{ m} < \frac{B}{6} = 0.51 \text{ m} \quad \text{cumple!}$$

d) Cálculo de q en la punta y talón:

$$q(\text{punta, talon}) = \frac{\Sigma Fv}{B} \left[1 \pm \frac{6e}{B} \right]$$

$$q(\text{punta, talon}) = \frac{443.05}{3.05} \left[1 \pm \frac{6 \times 0.48}{3.05} \right]$$

$$q_{\text{punta}} = 27.37 \text{ t/m}^2$$

$$q_{\text{talón}} = 0.85 \text{ t/m}^2$$

e) Capacidad de carga: q (último)

$$q(\text{último}) = cN_c S_c + q_o N_q + 0.5 B Y_s N_y S_y$$

$$Y_s = 2.1 \text{ t/m}^3$$

$$B4 = 3.05 \text{ m}$$

$$q_o = (Y_s) (D_f/2) = 2.1(4.00/2) = 4.2, \text{ luego reemplazamos en la fórmula de}$$

Terzaghi:

$$q(\text{último}) = 0 \times 38.64 \times 1 + 4.2 \times 26.09 + 0.5 \times 3.05 \times 2.10 \times 35.19 \times 1 = 222.27 \text{ t/m}^2$$

Verificando FSCC=Factor de seguridad de capacidad de carga

$$FSCC = \frac{q(\text{último})}{q(\text{punta})} \geq 3$$

$$FSCC = \frac{222.27}{27.37} = 8.12 \geq 3 \quad \text{CUMPLE!}$$

Luego para el cuarto tramo los tres factores de seguridad cumplen, por lo tanto:

$$B4 = 3.05 \text{ m}$$

TRAMO 5: Considerando figura N°4.23

Tabla N°4.13.- Valores de fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro del tramo 5

		FUERZA VERTICAL	BRAZO
W1C	PESO DEL CONCRETO	1.62	0.45
W2C	PESO DEL CONCRETO	2.97	0.83
W3C	PESO DEL CONCRETO	4.32	1.20
W4C	PESO DEL CONCRETO	5.49	1.53
W5C	PESO DEL CONCRETO	1.8xB5	0.5xB5
	SOBRECARGA	6.5xB5	0.5xB5
WS1	PESO DEL SUELO	1.58	1.28
WS2	PESO DEL SUELO	3.15	2.03
WS3	PESO DEL SUELO	4.10	2.73
WS4	PESO DEL SUELO	8.4(B5-3.05)	(B5+3.05)/2

		FUERZA HORIZONTAL	BRAZO
Fh	EMPUJE DE TIERRA	26.25	1.67
F s/c	SOBRECARGA	32.50	2.50

a) FSV = Factor de seguridad al volteo

$$FSV = \frac{\sum Mr}{\sum Mo} \geq 3$$

Reemplazando valores de la tabla se obtiene lo siguiente con B=B5:

$$\sum Mr = 8.35(B5)^2 - 2.68$$

$$\sum Mo = 125.09 \quad \text{reemplazando en la inecuación: } B5 \geq 3.65 \text{ m}$$

b) FSD = Factor de seguridad al deslizamiento ≥ 2

$$u = \tan(\phi) = \tan(33.3^\circ) = 0.6569$$

$$FSD = \frac{(16.7B5 - 2.39)u}{58.75(Ka)} \geq 2 \quad B5 \geq 3.24$$

Elegiremos: **B5 = 3.65 m**

c) Verificando el cumplimiento de seguridad de carga.

$$e \leq \frac{B}{2} - \left[\frac{\sum Mr - \sum Mo}{\sum(FV)} \right]$$

Se calcula la excentricidad "e" y se debe cumplir que: $e \leq \frac{B}{6}$

con B5 = 3.65 m

$$\Sigma Mr = 8.35 \times (B5)^2 - 2.68 = 108.56$$

$$\Sigma Mo = 125.09 \times (Ka) = 36.28$$

$$\Sigma FV = 16.7 \times B5 - 2.39 = 58.57$$

$$B/6 = 3.65/6 = 0.61$$

$$e = \frac{3.65}{2} - \frac{108.56 - 36.28}{58.57} \quad e = 0.595 \text{ m}$$

$$e = 0.595 \text{ m} < \frac{B}{6} = 0.610 \text{ m} \quad \text{cumple!}$$

d) Cálculo de q en la punta y talón:

$$q(\text{punta, talon}) = \frac{\Sigma Fv}{B} \left[1 \pm \frac{6e}{B} \right]$$

$$q(\text{punta, talon}) = \frac{589.57}{3.65} \left[1 \pm \frac{6 \times 0.595}{3.65} \right]$$

$$q_{\text{punta}} = 31.78 \text{ t/m}^2$$

$$q_{\text{talón}} = 0.32 \text{ t/m}^2$$

e) Capacidad de carga: q (último)

$$q(\text{último}) = cN_c S_c + q_o N_q + 0.5 B Y_s N_y S_y$$

$$Y_s = 2.1 \text{ t/m}^3$$

$$B5 = 3.65 \text{ m}$$

$q_o = (Y_s) (D_f/2) = 2.1(5.00/2) = 5.25$, luego reemplazamos en la fórmula de Terzaghi:

$$q(\text{último}) = 0 \times 38.64 \times 1 + 5.25 \times 26.09 + 0.5 \times 3.65 \times 2.10 \times 35.19 \times 1 = 271.84 \text{ t/m}^2$$

Verificando FSCC=Factor de seguridad de capacidad de carga

$$FSCC = \frac{q(\text{último})}{q(\text{punta})} \geq 3$$

$$FSCC = \frac{271.84}{31.78} = 8.55 \geq 3 \quad \text{CUMPLE!}$$

Luego para el cuarto tramo los tres factores de seguridad cumplen, por lo tanto:

$$B5 = 3.65 \text{ m}$$

TRAMO 6 (H=1.50m): Considerando figura N°4.24

Tabla N°4.14.- Valores de fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro del tramo 6

		FUERZA VERTICAL	BRAZO
W1C	PESO DEL CONCRETO	2.43	0.45
W2C	PESO DEL CONCRETO	4.46	0.83
W3C	PESO DEL CONCRETO	6.48	1.20
W4C	PESO DEL CONCRETO	8.24	1.53
W5C	PESO DEL CONCRETO	9.86	1.83
W6C	PESO DEL CONCRETO	1.8xB6	0.5xB6
	SOBRECARGA	6.5xB6	0.5xB6
WS1	PESO DEL SUELO	2.36	1.28
WS2	PESO DEL SUELO	4.73	2.03
WS3	PESO DEL SUELO	6.14	2.73
WS4	PESO DEL SUELO	7.56	3.35
WS5	PESO DEL SUELO	15.75(B6-3.65)	(B6+3.65)/2

		FUERZA HORIZONTAL	BRAZO
Fh	EMPUJE DE TIERRA	85.05	3.00
s/c	SOBRECARGA	58.50	4.50

a) FSV = Factor de seguridad al volteo

$$FSV = \frac{\sum Mr}{\sum Mo} \geq 3$$

Reemplazando valores de la tabla se obtiene lo siguiente con B=B6:

$$\sum Mr = 12.03(B6)^2 - 6.98$$

$$\sum Mo = 518.40 \quad \text{reemplazando en la inecuación: } B6 \geq 6.17 \text{ m}$$

b) FSD = Factor de seguridad al deslizamiento ≥ 2

$$u = \tan(\phi) = \tan(33.3^\circ) = 0.6569$$

$$FSD = \frac{(24.05B6 - 5.23)u}{143.55(Ka)} \geq 2 \quad B6 \geq 5.49$$

Elegiremos: **B6 = 6.20 m**

c) Verificando el cumplimiento de seguridad de carga.

$$e \leq \frac{B}{2} - \left[\frac{\sum Mr - \sum Mo}{\sum (FV)} \right]$$

Se calcula la excentricidad "e" y se debe cumplir que: $e \leq \frac{B}{6}$
con B6 = 6.20 m

$$\sum Mr = 12.03 \times (B6)^2 - 6.98 = 455.45$$

$$\sum Mo = 518.55 \times (Ka) = 150.34$$

$$\sum FV = 24.05 \times B6 - 5.23 = 143.88$$

$$B/6 = 6.20/6 = 1.03$$

$$e = \frac{6.20}{2} - \frac{455.45 - 150.34}{143.88} = 0.98 \text{ m}$$

$$e = 0.98 \text{ m} < \frac{B}{6} = 1.03 \text{ m} \quad \text{cumple!}$$

d) Cálculo de q en la punta y talón:

$$q(\text{punta, talon}) = \frac{\sum Fv}{B} \left[1 \pm \frac{6e}{B} \right]$$

$$q(\text{punta, talon}) = \frac{143.88}{6.20} \left[1 \pm \frac{6 \times 0.98}{6.20} \right]$$

$$q_{\text{punta}} = 45.24 \text{ t/m}$$

$$q_{\text{talón}} = 1.16 \text{ t/m}^2$$

e) Capacidad de carga: q (último)

$$q(\text{último}) = cN_c S_c + q_o N_q + 0.5 B Y_s N_y S_y$$

$$Y_s = 2.1 \text{ t/m}^3$$

$$B6 = 6.20 \text{ m}$$

$$q_o = (Y_s) (D_f / 2) = 2.1(6.50/2) = 6.83, \text{ reemplazamos en fórmula de Terzaghi:}$$

$$q(\text{último}) = 0 \times 38.64 \times 1 + 6.83 \times 26.09 + 0.5 \times 6.20 \times 2.10 \times 35.19 \times 1 = 407.15 \text{ t/m}^2$$

Verificando FSCC=Factor de seguridad de capacidad de carga

$$FSCC = \frac{q(\text{último})}{q(\text{punta})} \geq 3$$

$$FSCC = \frac{407.15}{45.24} = 8.99 \geq 3 \quad \text{CUMPLE!}$$

Luego para el cuarto tramo los tres factores de seguridad cumplen, por lo tanto:

$$B6 = 6.20 \text{ m}$$

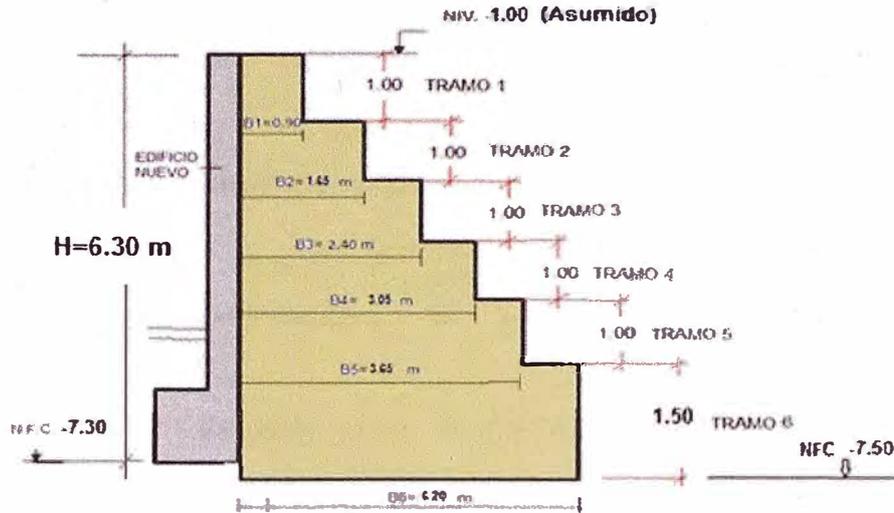


Figura N°4.27.-Diseño final de calzaduras (Sección 1-1)

TRAMO 6 (H=0.80m): Considerando figura N°4.24

Tabla N°4.15.- Valores de fuerzas verticales, horizontales y brazo de giro del tramo 6

		FUERZA VERTICAL	BRAZO
W1C	PESO DEL CONCRETO	1.30	0.45
W2C	PESO DEL CONCRETO	2.38	0.83
W3C	PESO DEL CONCRETO	3.46	1.20
W4C	PESO DEL CONCRETO	4.40	1.53
W5C	PESO DEL CONCRETO	5.26	1.83
W6C	PESO DEL CONCRETO	1.8xB6	0.5xB6
	SOBRECARGA	6.5xB6	0.5xB6
WS1	PESO DEL SUELO	1.26	1.28
WS2	PESO DEL SUELO	2.52	2.03
WS3	PESO DEL SUELO	3.28	2.73
WS4	PESO DEL SUELO	4.03	3.35
WS5	PESO DEL SUELO	8.40(B6-3.65)	(B6+3.65)/2

		FUERZA HORIZONTAL	BRAZO
Fh	EMPUJE DE TIERRA	24.19	1.60
F s/c	SOBRECARGA	31.20	2.40

a) FSV = Factor de seguridad al volteo

$$FSV = \frac{\sum M_r}{\sum M_o} \geq 3$$

Reemplazando valores de la tabla se obtiene lo siguiente con B=B6:

$$\sum M_r = 8.55(B6)^2 - 3.70$$

$$\sum M_o = 113.58 \quad \text{reemplazando en la inecuación: } B6 \geq 3.46 \text{ m}$$

b) FSD = Factor de seguridad al deslizamiento ≥ 2

$$u = \tan(\phi) = \tan(33.3^\circ) = 0.6569$$

$$FSD = \frac{(16.70B6 - 2.77)u}{55.39Ka} \geq 2 \quad B6 \geq 3.10$$

Elegiremos: **B6 = 3.80 m**

c) Verificando el cumplimiento de seguridad de carga.

$$e \leq \frac{B}{2} - \left[\frac{\sum Mr - \sum Mo}{\sum(FV)} \right]$$

Se calcula la excentricidad "e" y se debe cumplir que: $e \leq \frac{B}{6}$

con B6 = 3.80 m

$$\sum Mr = 8.55 \times (B6)^2 - 3.70 = 119.76$$

$$\sum Mo = 113.58 \times (Ka) = 32.94$$

$$\sum FV = 16.70 \times B6 - 2.77 = 60.69$$

$$B/6 = 3.80/6 = 0.63$$

$$e = \frac{3.80}{2} - \frac{119.76 - 32.94}{60.69} \quad e = 0.47 \text{ m}$$

$$e = 0.47 \text{ m} < \frac{B}{6} = 0.63 \text{ m} \quad \text{cumple!}$$

d) Cálculo de q en la punta y talón:

$$q(\text{punta, talon}) = \frac{\sum Fv}{B} \left[1 \pm \frac{6e}{B} \right]$$

$$q(\text{punta, talon}) = \frac{60.69}{3.80} \left[1 \pm \frac{6 \times 0.47}{3.80} \right]$$

$$q_{\text{punta}} = 27.79 \text{ t/m}^2$$

$$q_{\text{talón}} = 4.15 \text{ t/m}^2$$

e) Capacidad de carga: q (último)

$$q(\text{último}) = cN_c S_c + q_o N_q + 0.5 B Y_s N_y S_y$$

$$Y_s = 2.1 \text{ t/m}^3$$

$$B6 = 3.80 \text{ m}$$

$$q_o = (Y_s)(D_f/2) = 2.1(5.80/2) = 6.09, \text{ reemplazamos en fórmula de Terzaghi:}$$

$$q(\text{último}) = 0 \times 38.64 \times 1 + 6.09 \times 26.09 + 0.5 \times 3.80 \times 2.10 \times 35.19 \times 1 = 299.30 \text{ t/m}^2$$

Verificando FSCC = Factor de seguridad de capacidad de carga

$$FSCC = \frac{q(\text{último})}{q(\text{punta})} \geq 3$$

$$FSCC = \frac{299.30}{27.79} = 10.77 \geq 3 \quad \text{CUMPLE!}$$

Luego para el cuarto tramo los tres factores de seguridad cumplen, por lo tanto:

$$\mathbf{B6 = 3.80 \text{ m}}$$

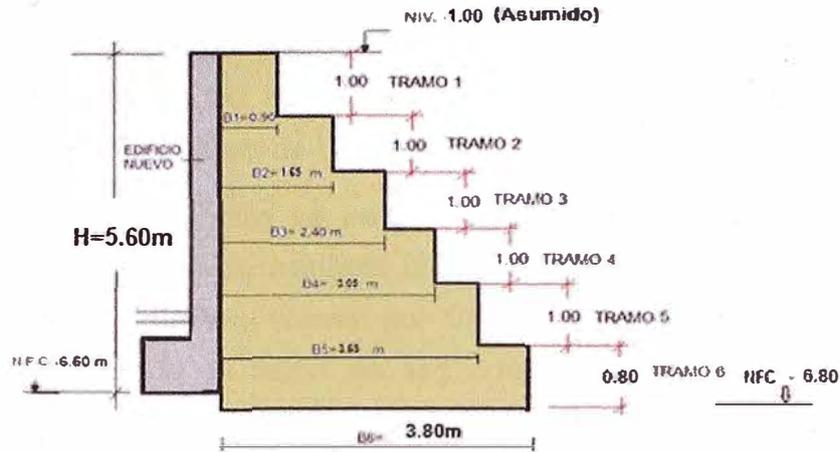


Figura N°4.28.-Diseño final de calzaduras (Sección 2-2)
Tabla N°4.16.- Factores de capacidad de carga

ϕ	Nc	Nq	N γ	Nq/Nc	tan ϕ	ϕ	Nc	Nq	N γ	Nq/Nc	tan ϕ
0	5.14	1.00	0.00	0.20	0.00	26	22.25	11.85	12.54	0.53	0.49
1	5.38	1.09	0.07	0.20	0.02	27	23.94	13.20	14.47	0.55	0.51
2	5.63	1.20	0.15	0.21	0.03	28	25.80	14.72	16.72	0.57	0.53
3	5.90	1.31	0.24	0.22	0.05	29	27.86	16.44	19.34	0.59	0.55
4	6.19	1.43	0.34	0.23	0.07	30	30.14	18.40	22.40	0.61	0.58
5	6.49	1.57	0.45	0.24	0.09	31	32.67	20.63	25.99	0.63	0.60
6	6.81	1.72	0.57	0.25	0.11	32	35.49	23.18	30.22	0.65	0.62
7	7.16	1.88	0.71	0.26	0.12	33	38.64	26.09	35.19	0.68	0.65
8	7.53	2.06	0.86	0.27	0.14	34	42.16	29.44	41.06	0.70	0.67
9	7.92	2.25	1.03	0.28	0.16	35	46.12	33.30	48.03	0.72	0.70
10	8.35	2.47	1.22	0.30	0.18	36	50.59	37.75	56.31	0.75	0.73
11	8.80	2.71	1.44	0.31	0.19	37	55.63	42.92	66.19	0.77	0.75
12	9.28	2.97	1.69	0.32	0.21	38	61.35	48.93	78.03	0.80	0.78
13	9.81	3.26	1.97	0.33	0.23	39	67.87	55.96	92.25	0.82	0.81
14	10.37	3.59	2.29	0.35	0.25	40	75.31	64.20	109.41	0.85	0.84
15	10.98	3.94	2.65	0.36	0.27	41	83.86	73.90	130.22	0.88	0.87
16	11.63	4.34	3.06	0.37	0.29	42	93.71	85.38	155.55	0.91	0.90
17	12.34	4.77	3.53	0.39	0.31	43	105.11	99.02	186.54	0.94	0.93
18	13.10	5.26	4.07	0.40	0.32	44	118.37	115.31	224.64	0.97	0.97
19	13.93	5.80	4.68	0.42	0.34	45	133.88	134.88	271.76	1.01	1.00
20	14.83	6.40	5.39	0.43	0.36	46	152.10	158.51	330.35	1.04	1.04
21	15.82	7.07	6.20	0.45	0.38	47	173.64	187.21	403.67	1.08	1.07
22	16.88	7.82	7.13	0.46	0.40	48	199.26	222.31	496.01	1.12	1.11
23	18.05	8.66	8.20	0.48	0.42	49	229.93	265.51	613.16	1.15	1.15
24	19.32	9.60	9.44	0.50	0.45	50	266.89	319.07	762.89	1.20	1.19
25	20.72	10.66	10.88	0.51	0.47						

Fuente: Braja M.Das, Capítulo 11 Cimentaciones superficiales. Capacidad de carga y asentamientos, pág. 395

4.3 RESUMEN

Este capítulo es el más importante del Informe de Suficiencia, porque se realizan los diseños en cada uno de los sistemas estructurales comparados desde el punto de vista de la estabilidad de los taludes.

En el caso del muro pantalla se hace un diseño del anclaje, considerando previamente un programa de cómputo como es el Bishop simplificado el cual analiza el mecanismo de falla circular por dovelas siendo un método iterativo y aproximado y arrojando un factor de seguridad, obtenido en el proceso de iteración de datos, como la variación de la sobrecarga hasta obtener un factor de seguridad mayor a 1.00

También se realiza el diseño de las calzaduras para seis tramos de acuerdo a la profundidad de la cimentación dada, considerando los parámetros que definen el comportamiento de las calzaduras como son el peso unitario del suelo, peso unitario del concreto, el ángulo de fricción interna y la cohesión del suelo que nuestro caso es nula.

Además para el cálculo se aplica la teoría de Rankine en el estado activo y el diseño se realiza tramo por tramo de la sección de la calzadura para hallar la longitud de la base "B", el cual será chequeado por los factores de seguridad como el de volteo, deslizamiento y de capacidad de carga.

CAPÍTULO V: COMPARACIÓN ECONÓMICA DE UN MURO PANTALLA Y LA CALZADURA

En este capítulo se analizarán los costos de los componentes del costo en cada sistema constructivo que son particulares en cada caso, tanto para las calzaduras como para los muros pantallas anclados. En tal sentido, para muro pantalla se mostrará lo similar que en calzaduras, esto es, el costo del anclaje, el costo adicional por el uso agregado de acero en las zonas de anclaje, el costo adicional por el concreto (ya que en muros pantallas anclados el concreto a emplearse debía resistencias tempranas a cinco días y en calzaduras los muros de sótanos son de 28 días), el picado en los muros anclados para la zona de losa, entre otros.

Para nuestro análisis se tomará un corte de veinticinco metros del perímetro del terreno de obra (lado derecho) ya que los demás lados se analizarán en forma análoga.

5.1 CONSIDERANDO SÓTANO Y SEMISÓTANO PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO EN EL SISTEMA DE CALZADURAS

Para realizar el análisis económico de las calzaduras se considera las actividades siguientes:

- Excavación de calzaduras en forma masiva por tramos, a medida que se va terminando los anillos.
- Encofrado de calzaduras con su debido apuntalamiento a la cara externa del encofrado para contrarrestar los empujes del terreno.
- Concreto de calzaduras preparado en obra con resistencia de 100 kg/cm² + 30% de piedra grande de 8" utilizando una mezcladora de 7p³
- Eliminación de material excavado para la construcción de las calzaduras utilizando cargador frontal y volquete.

De acuerdo a dichas actividades se detalla a continuación el análisis de precios unitarios en la siguiente tabla N°5.1:

Tabla N° 5.1.- Análisis de precios unitarios de calzadura

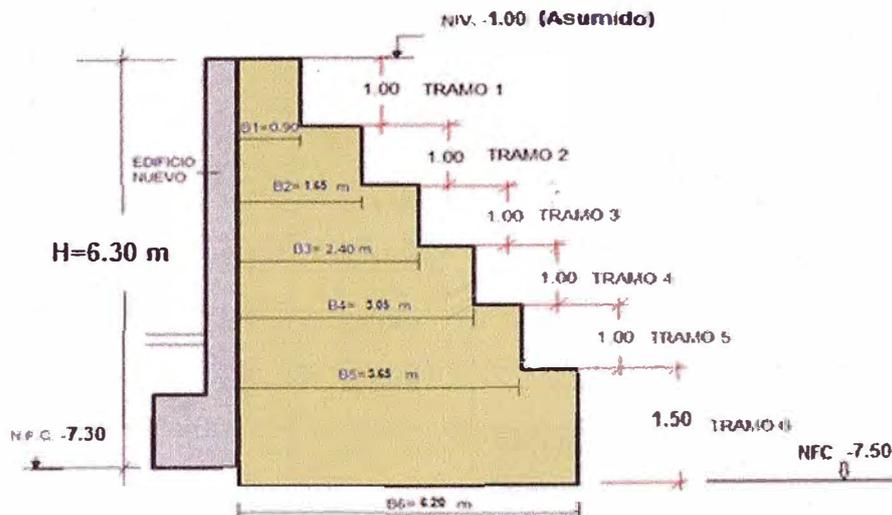
PRESUPUESTO : Edificio Multifamiliar							
Lugar: Magdalena del Mar							
Partida	Descripción	Und	Clasificación	Cant.	Precio	Parcial	Total
1.00	Calzaduras						
1.01	Excavación						
	manual	m3			Rendimiento: 2.88 m3 /día		
	Cuadrilla	Descripción		Und	Cant.	P. Unit.	Parcial
		Mano de Obra					
	0.10	Capataz	M.O.	HH	0.278	15.2200	4.23
	1.00	Peón	M.O.	HH	2.778	10.5900	29.41
		Equipo/Herramientas					33.64
		Herramientas	Herramientas	%	0.030	33.6400	1.00
						s/.	34.64
1.02	Encofrado	m2	N° uso panel:40		Rendimiento:15.84 m2/día		
	Cuadrilla	Descripción		Und	Cant.	P. Unit.	Parcial
		Mano de Obra					
	0.10	Capataz	M.O.	HH	0.051	15.2200	0.78
	1.00	Operario	M.O.	HH	0.505	14.5600	7.35
	1.00	Peón	M.O.	HH	0.505	10.5900	5.34
		Equipo/Herramientas					13.47
		Herramientas	Herramientas	%	0.030	13.4700	0.40
		Materiales					13.87
		Alambre negro N°8		Kg	0.110	3.2900	0.36
		Clavos de 3"		Kg	0.080	3.0500	0.24
		Paneles fenólicos	Materiales	m2	1.000	0.8333	0.83
		Puntales 4"x4"x10'	Materiales	pie2	55.556	0.0975	5.42
	1.00	Desmoldante y curador	Materiales	gal	0.030	13.2727	0.40
							7.25
						s/.	21.12
1.03	Concreto	m3			Rendimiento: 20.00 m3/día		
	Cuadrilla	Descripción		Und	Cant.	P. Unit.	Parcial
		Mano de obra					
	0.10	Capataz	M.O.	HH	0.040	15.2200	0.61
	1.00	Operario	M.O.	HH	0.400	14.5600	5.82
	0.50	Oficial	M.O.	HH	0.200	11.8500	2.37
	5.00	Peón	M.O.	HH	2.000	10.5900	21.18
							29.98
		Materiales					
		Cemento	Materiales	bls	2.970	13.5593	40.27
		Hormigón	Materiales	m3	0.457	22.500	10.28
		Piedra Grande	Materiales	m3	0.330	30.0600	9.92
							60.47
	1.00	Equipo/Herramientas					
		Mezcladora	Equipo	HM	0.050	7.0000	0.35
		Herramientas	Herramientas	%	0.030	29.9800	0.90
							1.25
						s/.	91.70

Los precios unitarios considerados en las calzaduras por cada actividad se muestran en la tabla N°5.2.

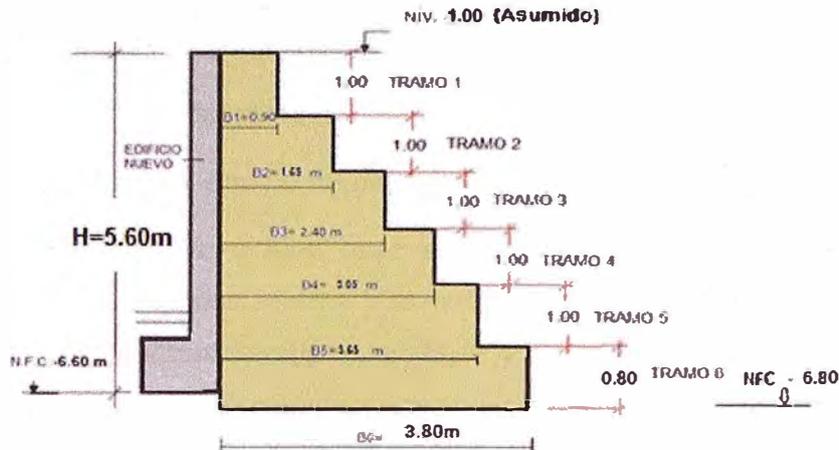
Tabla N°5.2.- Precios unitarios por partida de calzadura

PARTIDA	UNIDAD	PRECIO UNITARIO S/.(sin inc IGV)
Excavación de calzaduras	M ³	34.64
Encofrado de calzaduras	M ²	21.12
Concreto de calzaduras	M ³	91.70
Elimin. Material excavado	M ³	20.10

Para calcular el costo total de las calzaduras mostrada en la tabla N°5.3, dentro del corte de los veinticinco metros, se muestra en la figura N°5.1, el corte típico de secciones de calzaduras diseñadas en el capítulo IV.



Sección 1-1



Sección 2-2

Figura N°5.1.-Secciones transversales del diseño de calzaduras

Tabla N°5.3.- Costo total de calzaduras

PARTIDA	Und.	Metrado	P. Unitario (S/.)	Precio (S/.) (Sin inc. IGV)
Excavación de calzaduras	M ³	533.40	34.64	18,476.98
Encofrado de calzaduras	M ²	162.50	21.12	3,432.00
Concreto de calzaduras	M ³	533.40	91.70	48,912.78
Elimin. Material excavado	M ³	533.40	20.10	10,721.34
			TOTAL (S/.)	81,543.10

5.2 CONSIDERANDO SÓTANO Y MEDIO PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO EN EL SISTEMA DE MURO PANTALLA

Para realizar el análisis económico del muro pantalla anclada se considera las actividades siguientes:

- Obras preliminares de movilización, desmovilización del equipo y personal.
- Perforación rotoperkusiva en el suelo

- Anclaje de cable de acero de grado 270
- Inyección del anclaje
- Ensayo de incorporación de carga
- Stand by del equipo de perforación, por causas ajenas al contratista.

Debemos indicar que para este caso el ancho de los paños para los muros anclados fue de veinticinco metros y tuvieron solo dos tramos de muros, de los cuales solo en el primero se utilizó anclajes y estos fueron de doce metros de profundidad.

Para una mejor comprensión se muestra un corte transversal de la sección de los anillos en la siguiente figura N° 5.2.

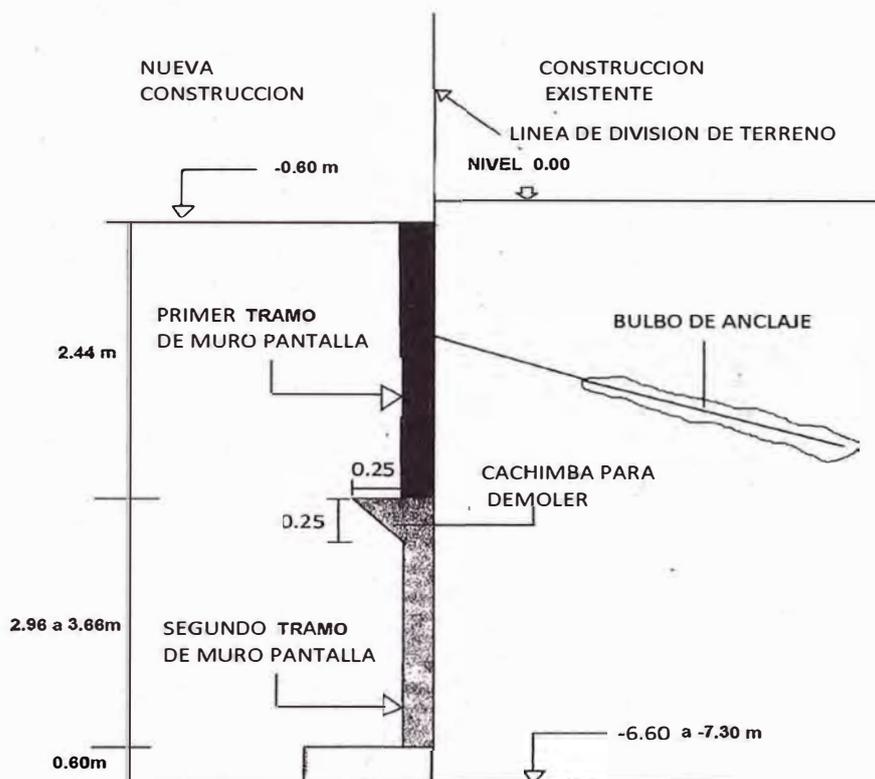


Figura N°5.2.- Sección transversal del muro pantalla construido en dos tramos.

De acuerdo a dichas actividades se detalla a continuación, el costo proporcionado por la Empresa en la siguiente tabla N°5.4:

Tabla N°5.4.- Cantidades y precios de anclajes de muro pantalla anclada

ITEM	DESCRIPCIÓN	Und	Cant.	P.Unitario	Sub Total	TOTAL
1.0	OBRAS PRELIMINARES					11801.31
1.1	Movilización y desmovilización del equipo y personal:almacén-obra-almacén	Equi	1.00	8960.00	8960.00	
1.2	Plataforma de perforación de 8x6m2	Und	1.00	2200.00	2200.00	
1.3	Suministro de agua	Glb		282.81	282.81	
1.4	Trazo y replanteo	Glb		358.50	358.50	
2.0	PERFORACIÓN					11200.32
2.1	Perforación rotoperkusiva en suelo(conglomerado de Lima) con sistema ODEX O SYMMETRIX 115/90, hasta 13m	m	72.00	155.56	11200.32	
3.0	ANCLAJE DE CABLE DE ACERO DE GRADO 270					6350.40
3.1	Suministro, montaje e instalación de anclaje de cable de 60 t	m	81.00	78.40	6350.40	
4.0	INYECCIÓN DEL ANCLAJE					2441.34
4.1	Inyección de lechada de cemento	bls	54.00	30.80	1663.20	
4.2	Suministro de cemento Portland Tipo I, bolsa de 42.5 Kg	bls	54.00	14.41	778.14	
5.0	ENSAYO DE INCORPORACIÓN DE CARGA (TENSADO)					1024.80
5.1	Ensayos de incorporación, incluye suministro temporal de placa cabezal y posterior desactivación y retiro del cabezal y placa	Und	6.00	170.80	1024.80	
6.0	OTROS					13978.00
6.1	Stand by del equipo de perforación, por causas ajenas al contratista	HM		238.00	238.00	
6.2	Suministro de energía eléctrica(trifásica 440 y 220) 45kv y agua	Glb		10140.00	10140.00	
6.3	Alquiler grúa para retiro de los equipos al final del trabajo	Hora		3600.00	3600.00	
				TOTAL	S/. 46,796.17	

Cabe mencionar que a este monto de S/.46,796.17 (Sin inc.IGV) se le debe añadir otros costos directos utilizados en el proceso constructivo del muro pantalla anclado que se especifican en la tabla N°5.5 de adicionales como:

- Concreto.
- Acero.
- Escarificado de muros.
- Retroexcavadora para banquetas y contrafuertes.
- Encofrado descendente, refine, lechada de cemento y epóxico.

Tabla N°5.5.- Partidas adicionales en el muro pantalla anclado

ITEM	Descripción	Und	Metrado	P.Unit.	Parcial
1.0	Concreto				
1.1	Primer tramo	M3	6.09	298.85	1819.99
1.2	Segundo tramo	M3	3.63	298.85	1084.83
2.0	Acero				
2.1	Refuerzo agregado de 1/2" @0.125m	ML	1732.20	3.84	6651.65
2.2	Refuerzo agregado de 3/8" @0.25 con empalme de 0.60m	ML	120.00	2.15	258.00
3.0	Escarificado de muros				
3.1	HH por escarificar	HH	20.00	16.08	321.60
3.2	Martillo eléctrico para demoler	HM	20.00	7.50	150.00
3.3	Andamio	HM	20.00	6.00	120.00
4.0	Retroexcavadora				
4.1	Retroexcavadora para banquetas y contrafuertes	HH	21.25	250.37	5320.36
5.0	Otros				
5.1	Encofrado descendente	M2	237.50	27.66	6569.25
5.2	Refine de terreno	M2	237.50	7.13	1693.38
5.3	Lechada de cemento	BLS	10.00	14.41	144.10
5.4	Epóxico sikadur 32 para unir concreto	JGO	2.00	180.00	360.00
TOTAL				S/.	24,493.16

Tabla N°5.6.- Resultados obtenidos en el análisis comparativo económico de cada sistema utilizado

NIVELES	COSTO DE CALZADURAS (S/.)	COSTO DE MURO PANTALLA (S/.)	DIFERENCIA (S/.)	DIFERENCIA PORCENTUAL
SEMISÓTANO Y SÓTANO	81,543.10	71,289.33	10,253.77	14.38%

Tabla N°5.7.- Resultados obtenidos del análisis comparativo de planeamiento en la ejecución para cada sistema utilizado

NIVELES	CALZADURAS (DÍAS)	MURO PANTALLA (DÍAS)	DIFERENCIA (DÍAS)	DIFERENCIA PORCENTUAL
SEMISÓTANO Y SÓTANO	21.00	18.00	3.00	16.67%

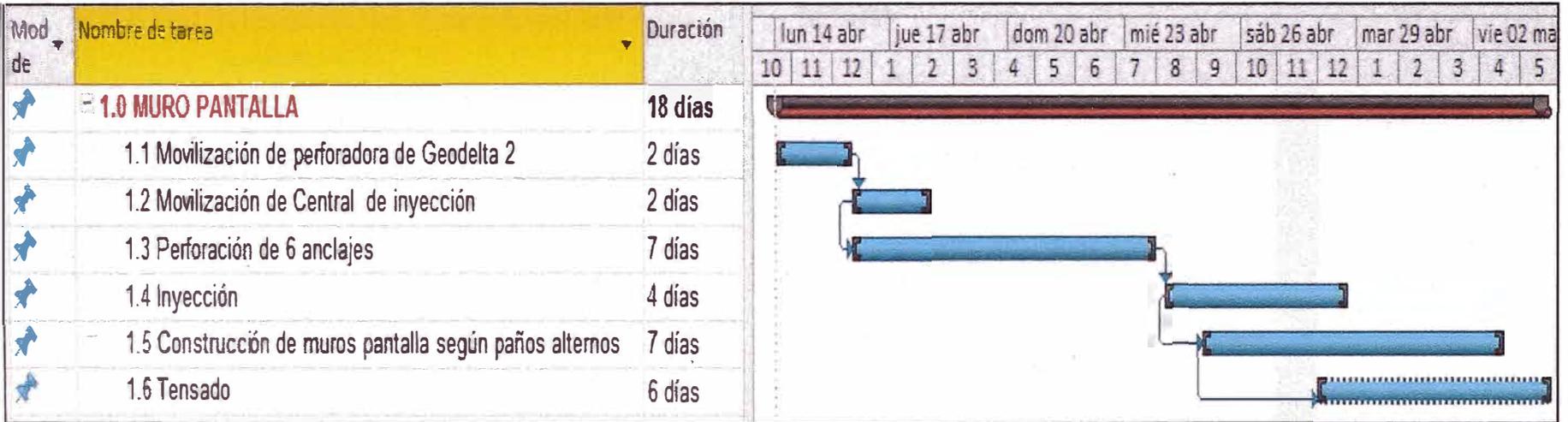
METRADO DE CALZADURAS EN EL SÓTANO Y SEMISÓTANO DEL PRIMER SEGMENTO DE 15 METROS (SECCION 1-1)

DESCRIPCIÓN	COTA SUPERIOR (m)	COTA INFERIOR (m)	CONCRETO			ENCOFRADO		RESULTADOS		
			F'c (Kg/cm2)	Altura (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Altura (m)	Largo (m)	Concreto (m3)	Encofrado (m2)
PRIMER TRAMO	-1.00	-2.00	100.00	1.00	0.90	15.00	1.00	15.00	13.50	15.00
SEGUNDO TRAMO	-2.00	-3.00	100.00	1.00	1.65	15.00	1.00	15.00	24.75	15.00
TERCER TRAMO	-3.00	-4.00	100.00	1.00	2.40	15.00	1.00	15.00	36.00	15.00
CUARTO TRAMO	-4.00	-5.00	100.00	1.00	3.05	15.00	1.00	15.00	45.75	15.00
QUINTO TRAMO	-5.00	-6.00	100.00	1.00	3.65	15.00	1.00	15.00	54.75	15.00
SEXTO TRAMO	-6.00	-7.50	100.00	1.50	6.20	15.00	1.50	15.00	139.50	22.50
									314.25	97.50

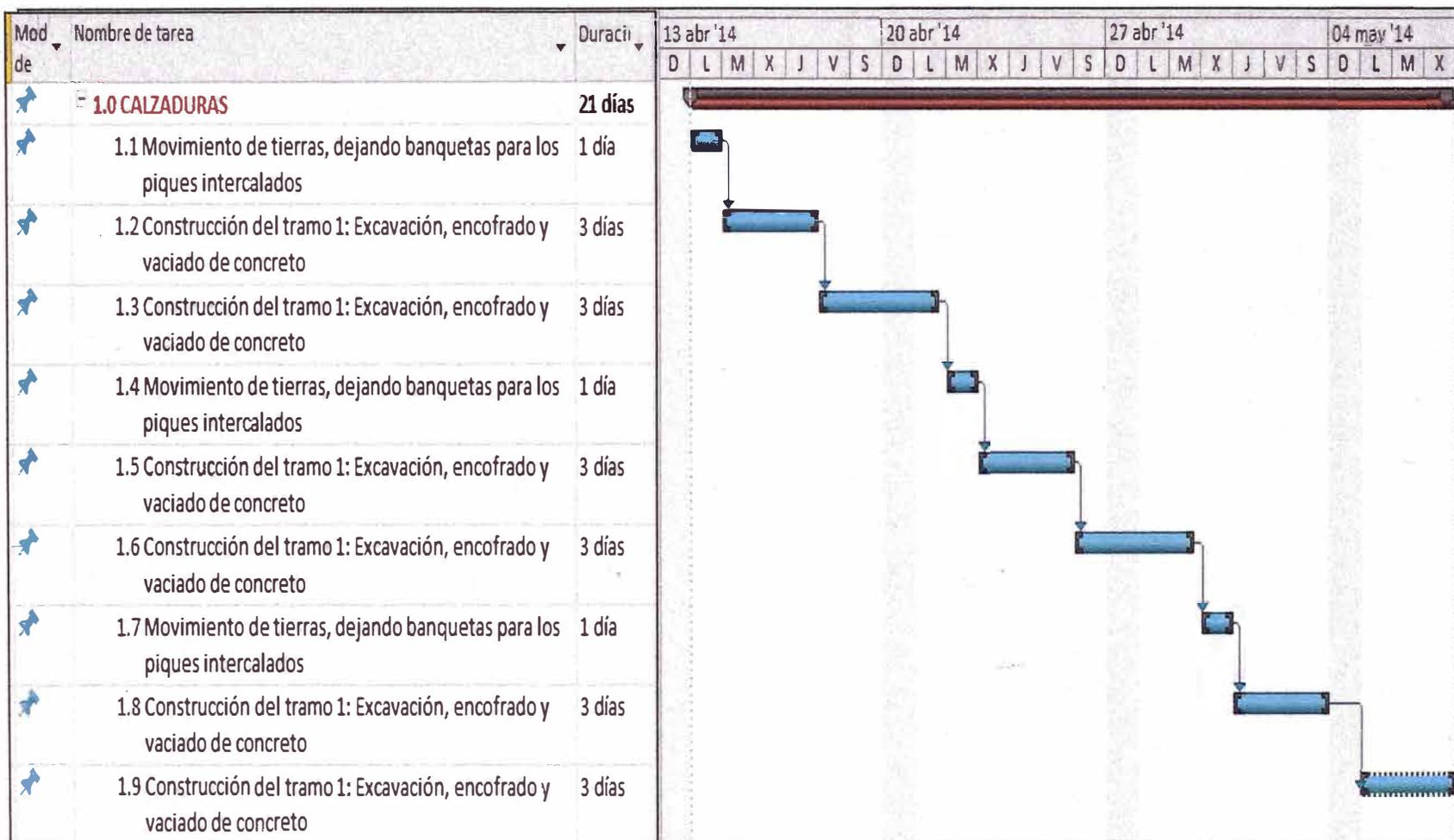
METRADO DE CALZADURAS EN EL SÓTANO Y SEMISÓTANO DEL SEGUNDO SEGMENTO DE 10 METROS (SECCION 2-2)

DESCRIPCIÓN	COTA SUPERIOR (m)	COTA INFERIOR (m)	CONCRETO			ENCOFRADO		RESULTADOS		
			F'c (Kg/cm2)	Altura (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Altura (m)	Largo (m)	Concreto (m3)	Encofrado (m2)
PRIMER TRAMO	-1.00	-2.00	100.00	1.00	0.90	15.00	1.00	10.00	13.50	10.00
SEGUNDO TRAMO	-2.00	-3.00	100.00	1.00	1.65	15.00	1.00	10.00	24.75	10.00
TERCER TRAMO	-3.00	-4.00	100.00	1.00	2.40	15.00	1.00	10.00	36.00	10.00
CUARTO TRAMO	-4.00	-5.00	100.00	1.00	3.05	15.00	1.00	10.00	45.75	10.00
QUINTO TRAMO	-5.00	-6.00	100.00	1.00	3.65	15.00	1.00	10.00	54.75	10.00
SEXTO TRAMO	-6.00	-6.80	100.00	0.80	3.70	15.00	1.50	10.00	44.40	15.00
									219.15	65.00

CRONOGRAMA DE EJECUCION DE ANCLAJES PARA EL MURO PANTALLA



CRONOGRAMA DE EJECUCION DE CALZADURAS



5.3 RESUMEN

En este capítulo se realiza una comparación económica y lógicamente para ello se realiza un metrado de todos los resultados obtenidos en el diseño del capítulo anterior y en cada uno de los sistemas para poder obtener un análisis de costos unitarios y posterior costo directo y poder compararlos porcentualmente y descubrir cuál de los métodos es más barato en su ejecución.

Además se hace una comparación en tiempo de acuerdo a un cronograma de actividades utilizando el MS PROJECT realizado en cada sistema estructural y descubrir cuál de los métodos es más rápido, es decir se utiliza menor tiempo en su ejecución.

Se descubre entonces que el sistema estructural de muro pantalla anclada es más cómoda económicamente hablando y más rápida en su ejecución con respecto al sistema estructural de calzaduras, cuando se trata de un sótano y un semisótano en este caso.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Con las partidas consideradas en los sistemas estructurales de muro pantallas ancladas y calzaduras se puede realizar la comparación técnica y económica que se pueden detallar a continuación:

Con **respecto a la construcción** se ha podido apreciar que cuando se utiliza el sistema estructural de muro pantalla anclada, ésta resulta más tediosa, debido a la cantidad de partidas y detalles que se aplica para su construcción, en cambio, en el sistema de calzaduras es mucho más simple y menos tedioso el proceso constructivo, con menos partidas por ejecutar.

Es evidente que existe una gran diferencia **en cuanto a la utilización de maquinaria, equipos y herramientas**, dado que para construir el muro pantalla anclado se utiliza una máquina perforadora, una mini planta de concreto de preparación de lechada de cemento, inyectora, un gato hidráulico, un grupo electrógeno para el tensado de anclajes; en cambio para construir las calzaduras solamente se utiliza una máquina mezcladora y herramientas.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis comparativo de planeamiento en la ejecución para cada sistema se pudo apreciar que existe una diferencia **en cuanto a tiempo de ejecución**, es decir, que cuando se utiliza el sistema de muro pantalla anclada el tiempo es menor comparado con el sistema de calzaduras, en un **16.67%**, esto es, cuando se evalúa para un sótano y medio.

Con los resultados obtenidos en el análisis comparativo económico en la ejecución para cada sistema se pudo apreciar que existe una diferencia **en cuanto al costo de ejecución**, es decir, que cuando se utiliza el sistema de muro pantalla anclada el costo es menor comparado con el sistema de calzaduras, en un **14.38%**, esto es, cuando se evalúa para un sótano y medio.

Estos valores obtenidos se corroboran con la publicación de una tesis de "Análisis comparativo de la estabilización de taludes mediante el uso de muros anclados y calzaduras en la construcción de edificaciones" de Gustavo Cabellos Gavidia. 2012 donde concluye que a medida que aumentan los sótanos tanto el

costo y el tiempo aumentan de modo significativo cuando se elige construir utilizando el sistema de calzaduras.

En el caso de construir un sótano o semisótano, aparentemente no habría diferencia considerable en cuanto a tiempo y costo quedando a consideración y decisión del responsable en el análisis de comparación.

Si analizamos los **riesgos en la construcción** de cada sistema, existe la primera posibilidad de peligro para los mismos trabajadores, en la etapa de excavación de calzaduras debido a la profundidad de la base que se va incrementando en cada nivel o anillo a medida que se utiliza mayor cantidad de sótanos y la segunda posibilidad de riesgo es que se presente algún problema en las construcciones existentes colindantes con la obra, como por ejemplo que aparezcan fisuras, rajaduras en algunos elementos estructurales o deslizamiento de terreno como el caso de la cuña de falla. En cambio cuando se utiliza el sistema de muro pantalla el riesgo es menor, pero existe la probabilidad de que se presente algún peligro dentro de sus actividades como por ejemplo el desprendimiento del talud vertical en el movimiento de tierras con la utilización de las maquinarias pesadas puestas en obra.

6.2 RECOMENDACIONES

Sabiendo que en el caso de anclajes para el muro pantalla el diseño más eficiente y económico se sugiere que cuando se le permita al contratista seleccionar el tipo de anclaje, el método adecuado de construcción y la capacidad de cada anclaje. El diseñador debe especificar la longitud mínima libre, la longitud mínima total y la capacidad de cada unida de anclaje a cada nivel. Definiendo los requisitos mínimos entre el contratista y el diseñador en forma conjunta y elaborar los detalles de la obra. No es una buena práctica de ingeniería que el contratista o proveedor realice la totalidad el diseño, debido a que existe la tendencia a darle prioridad al costo y las utilidades por encima de la estabilidad de la obra.

Es muy importante, que en un estudio de estabilidad de taludes, se haga un buen estudio de suelos, con todos sus ensayos y requerimientos para que el especialista realice un correcto diseño real, efectivo, económico y decidir técnicamente por el sistema a utilizar.

Una vez decidida la construcción y el sistema a utilizar, se sugiere solicitar el permiso para ingresar a los predios colindantes con la obra, para realizar una inspección ocular, ayudándose de unas tomas fotográficas y/o videos y de este modo tendríamos un registro de sustento de las condiciones reales en que se encuentran dichas construcciones y evitaríamos problemas posteriores, tanto legales como físicos, durante y después de la ejecución de la obra.

Existe la posibilidad de impacto en los vecinos colindantes, cuando tengan la duda y temor cuando se utilice uno de los sistemas de muro pantalla o calzadura y estos afecten sus construcciones, entonces será el momento de hacerles saber que cuando se utiliza el sistema muro pantalla es menos riesgoso que las calzaduras, porque no estamos excavando en forma masiva debajo de sus cimientos y que el muro pantalla le servirá como sostenimiento de sus terrenos, además que en el futuro el costo disminuirá sustancialmente si es que deciden construir un edificio en sus terrenos o venderlos, que obviamente elevarán sus costos por metro cuadrado, lo que no ocurriría, si es que deciden optar por construir con el sistema de calzaduras, ya que el vecino para construir su edificio tendría que demoler y eliminar estas calzaduras, que estarían invadiendo su terreno y obviamente aumentarían los costos en su construcción.

BIBLIOGRAFIA

- AVENDAÑO A., JENNY “Estudio comparativo técnico económico del sistema Drywall y los sistemas convencionales de construcción en el Perú” Tesis para optar Título Profesional FIC-UNI. Lima, 2005
- BLANCO B., ANTONIO “Calzaduras” ANTONIO BLANCO BLASCO Ingenieros E.I.R.L. Lima, 2011
<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20110903-Calzaduras%20AB.pdf>
- BLANCO B., ANTONIO “Sistema de estabilización de terreno para el caso de excavación de edificios con sótanos. Caso especial de muros anclados” ANTONIO BLANCO BLASCO Ingenieros E.I.R.L. Lima, 2011
<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20110905-Muros%20anclados%20AB.pdf>
- BRAJA M. DAS “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica” Edit. Thomson Learning. México, 2011
- CABELLOS GAVIDIA, GUSTAVO ADOLFO “Análisis comparativo de la estabilización de taludes mediante el uso de muros anclados y calzaduras en la construcción de edificaciones” Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. PUCP. Lima, 2012.
- CHAVEZ HINOJOSA, RAUL “Diseño y construcción de calzaduras” Tesis para optar el Título Profesional FIC-UNI. Lima, 2010
- DELGADO C., GENARO “Proceso constructivo de una edificación con sótano utilizando calzaduras”. Lima, 2012
<http://es.slideshare.net/DraguichMachaChamorro/67918297-calzadurasmpantalla>
- PROPUESTA TÉCNICA, en “Cálculo de estabilidad y procedimiento de Muro Pantalla en Edificio Multifamiliar de GEOTECNIA PERUANA S.R.L.
- QUISPE BALDEON, MIGUEL ANGEL “Construcción de placas ancladas para estabilización de taludes-carretera Huánuco-Tingo María” Tesis para optar Título Profesional FIC-UNI. Lima, 2001.
- SUAREZ JAIME, Estructuras Ancladas Pretensadas-Erosión. Capítulo 4
http://www.bing.com/search?q=librodeslizamientost2_ca4.pdf&form=HPNTDF&pc=HPNTDF&src=IE-SearchBox

ANEXOS

ANEXO A: NORMAS TÉCNICAS PERUANAS UTILIZADAS EN EL INFORME DE SUFICIENCIA

ANEXO B: PLANO DE UBICACIÓN DEL PROYECTO DE EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR LEXUS II-DISTRITO DE MAGDALENA DEL MAR-LIMA-PERÚ.

ANEXO C: PLANO DE CIMENTACIÓN DE LA OBRA LEXUS II, DE ANÁLISIS COMPARATIVO DE MURO PANTALLA Y CALZADURAS.

ANEXO D: PLANOS DE CALZADURAS DEL LADO DERECHO DE LA OBRA LEXUS II QUE SE TOMADO COMO COMPARACIÓN ENTRE ELMURO PANTALLA Y LAS CALZADURAS.

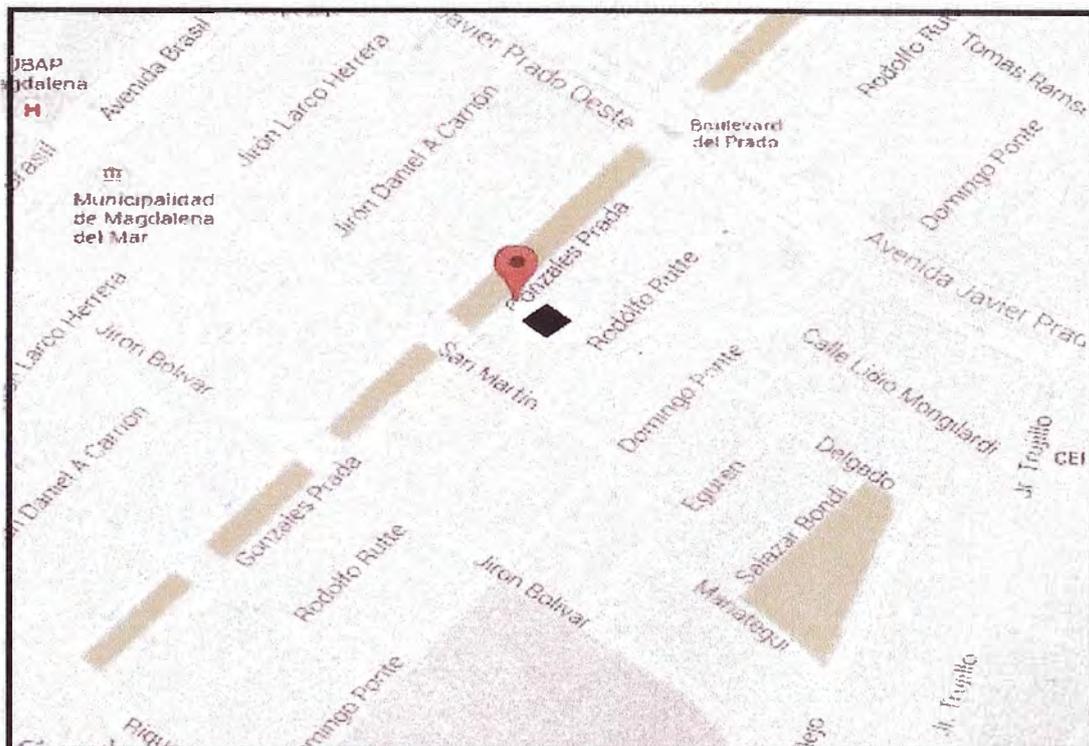
ANEXO E: PLANO DE DITRIBUCIÓN DE ANCLAJES DEL PRIMER NIVEL DEL MURO PANTALLA DEL LADO DERECHO EN COMPARACIÓN CON LAS CALZADURAS.

ANEXO A

NORMAS TÉCNICAS PERUANAS

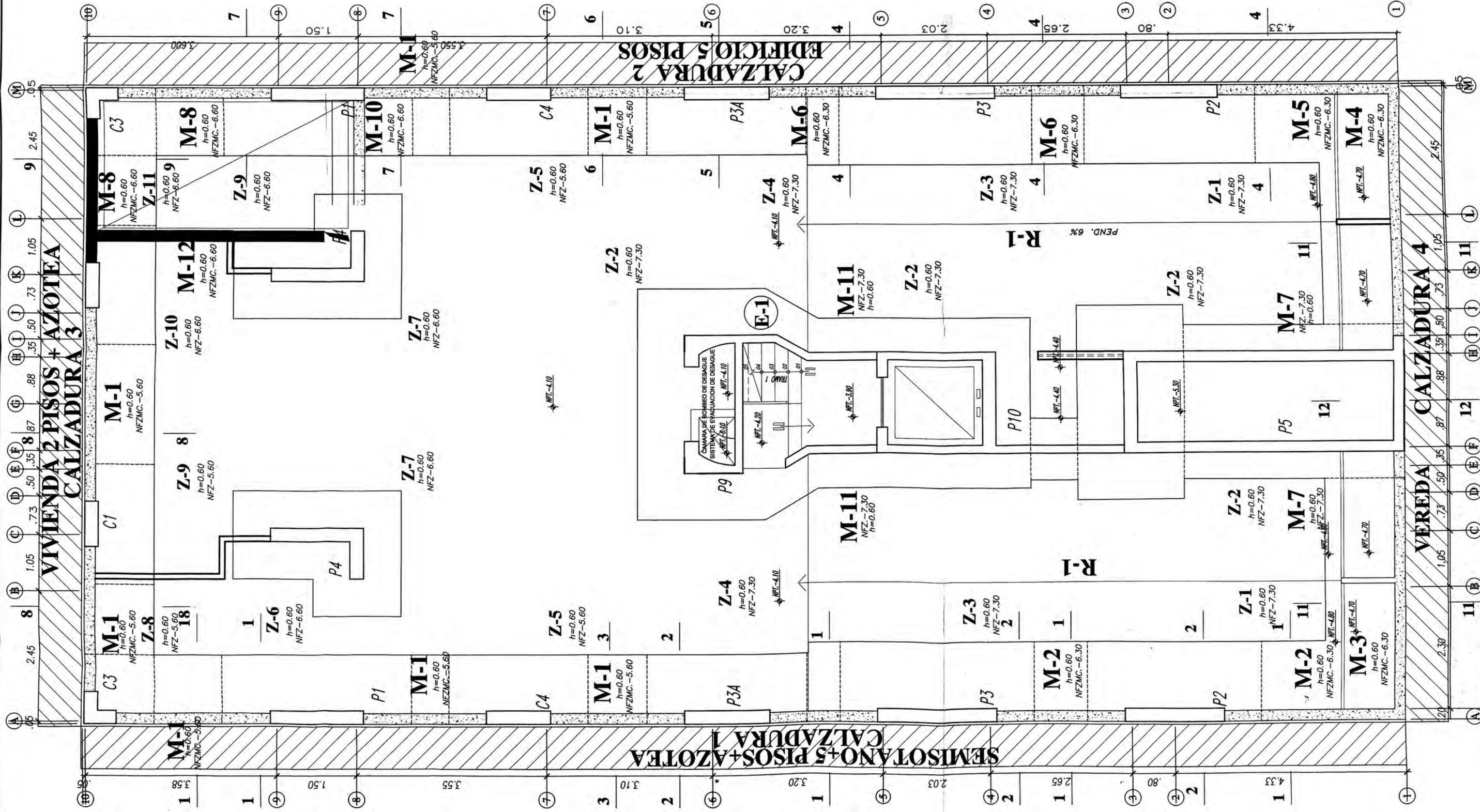
- Norma ASTM C-94 para concreto premezclado
- Norma ASTM C-881, ASTM D-69 resistencia a la compresión del sikadur 32 gel.
- Norma ASTM C-580 resistencia a la flexión del sikadur 32 gel.
- Norma ASTM C-882 adherencia del sikadur 32 gel.
- Norma IRAM 1572 del Sika 1 como impermeabilizante del concreto para evitar la filtración de la humedad.
- Norma ASTM A-615 y ASTM A-617 del acero estructural
- Norma ASTM A-36
- Norma ASTM A-416/A-416
- Norma ASTM C-172 para la mezcla de concreto simple.
- Norma E-050 de suelos y cimentaciones según:
Acápito 6.5.2 en estructura de sostenimiento
Acápito 6.5.4 diseño y construcción de obras de sostenimiento.
- Norma E-020 de cargas de edificaciones colindantes
- Norma E-030 Sismo resistente para estructuras de **sostenimiento.**

ANEXO B



PLANO DE UBICACIÓN DEL EDIFICIO MULTIFAMILIAR

ANEXO C



PLANTA CIMENTACION
ESC. 1:50

PROPIETARIO: **LEXUS INVERSIONES SAC.**

PROFESIONAL: **JORGE OSCAR HUASQUICHE CANTO**
 ING. CIVIL CIP 62423

DIRECCION: Av. Parque Gonzales Prada 438-440, Mz. D, Lote 20
 Urbanizacion Oyague, Distrito Magdalena, Prov. Lima

PROYECTO: PROGRAMA MI VIVIENDA

ESCALA: 1/50, 1/25

AUTOCAD: HYTCOQUI

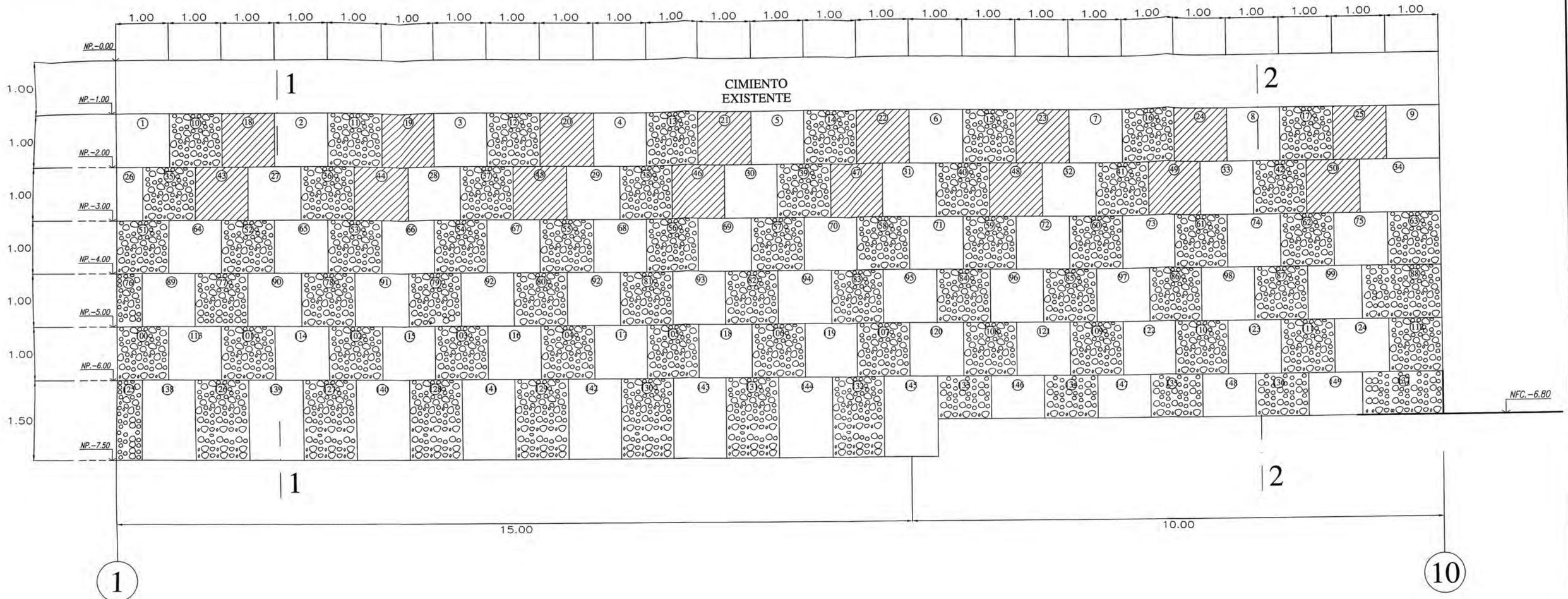
FECHA: FEBRERO 2012

UNIDAD: E-15

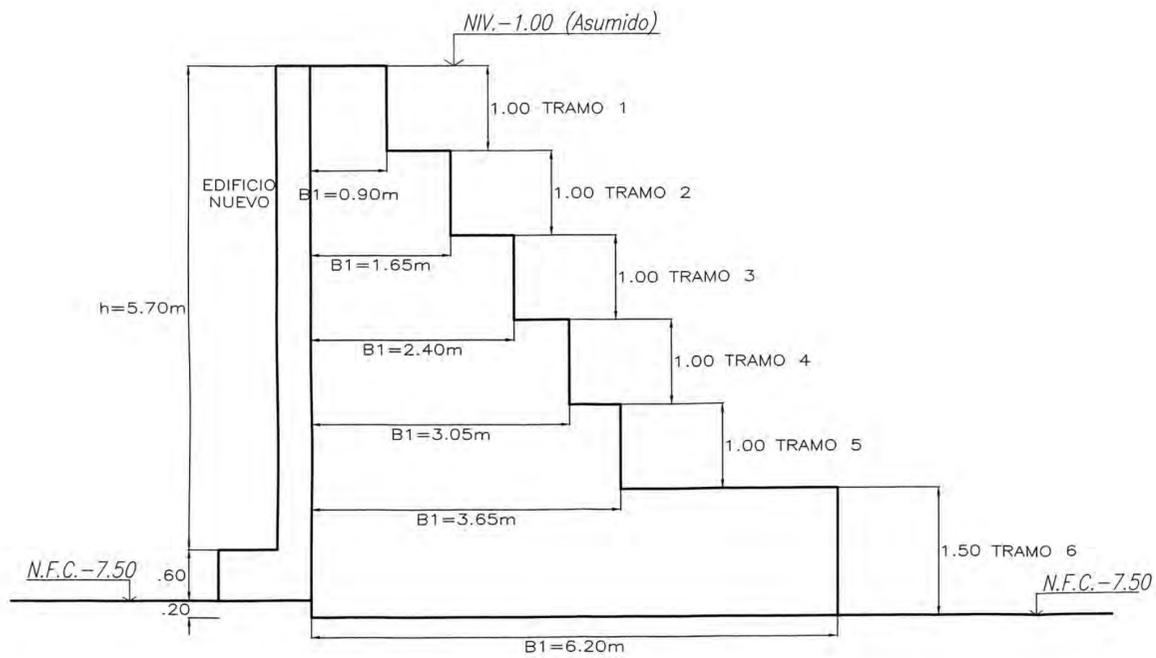
ESPECIALIDAD: ESTRUCTURAS

PLANO: CALZADURAS

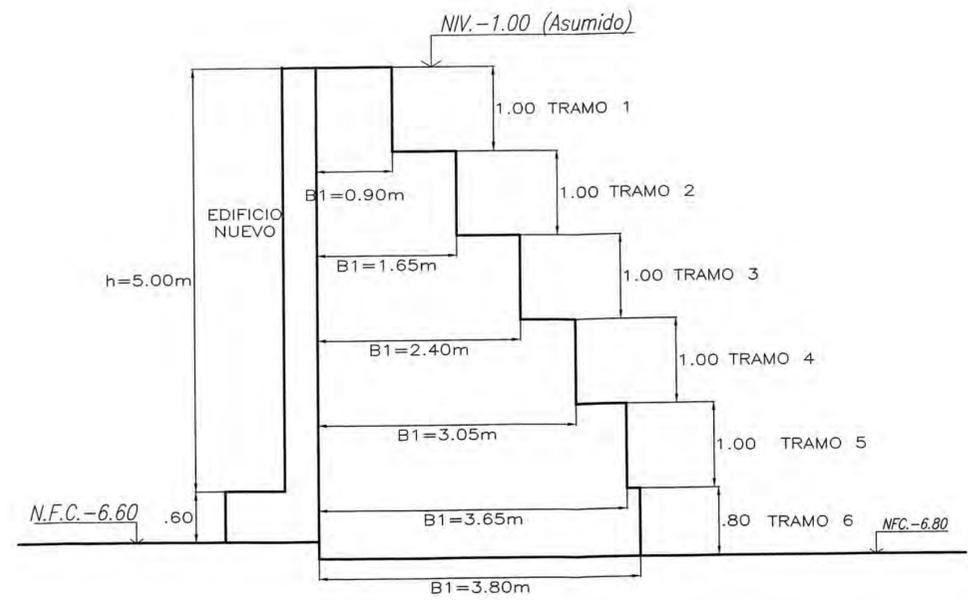
ANEXO D



DETALLE DE CALZADURA EJE M DEL 1 AL 10
 SECUENCIA DE VACIADO DE CALZADURA 2



SECCION 1-1



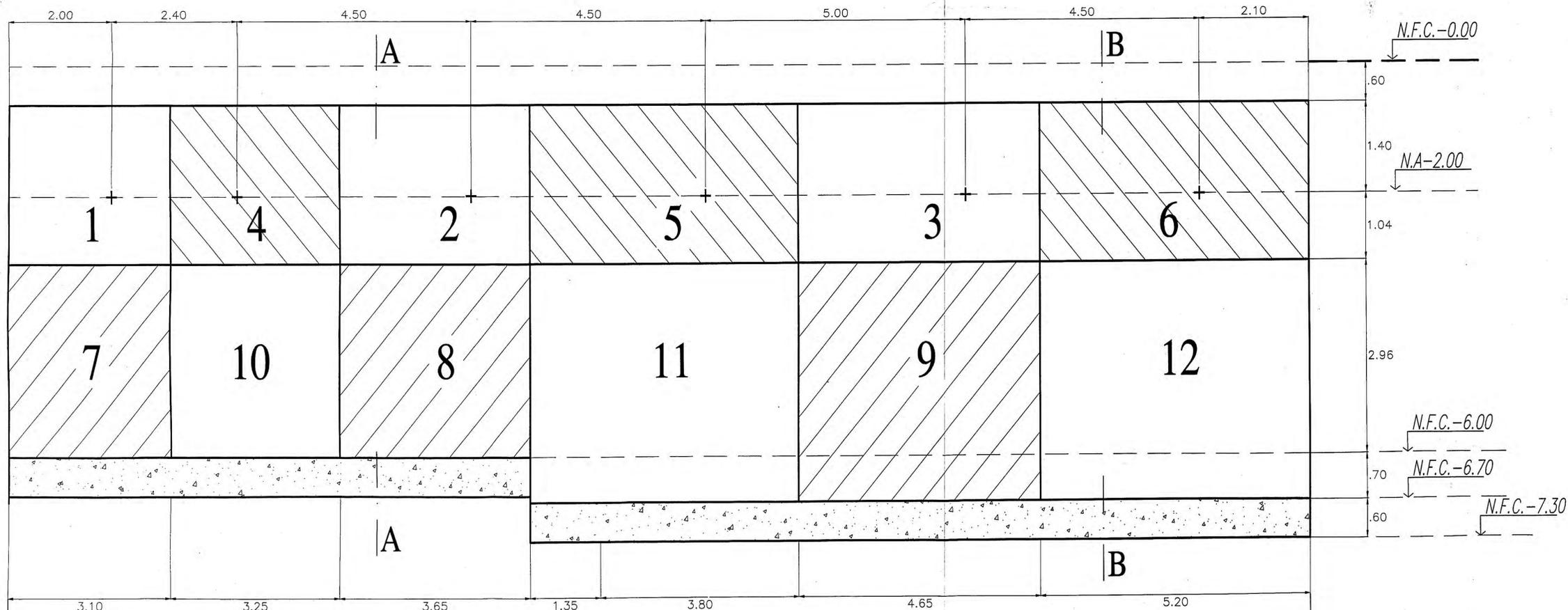
SECCION 2-2

PLANO DE CALZADURAS

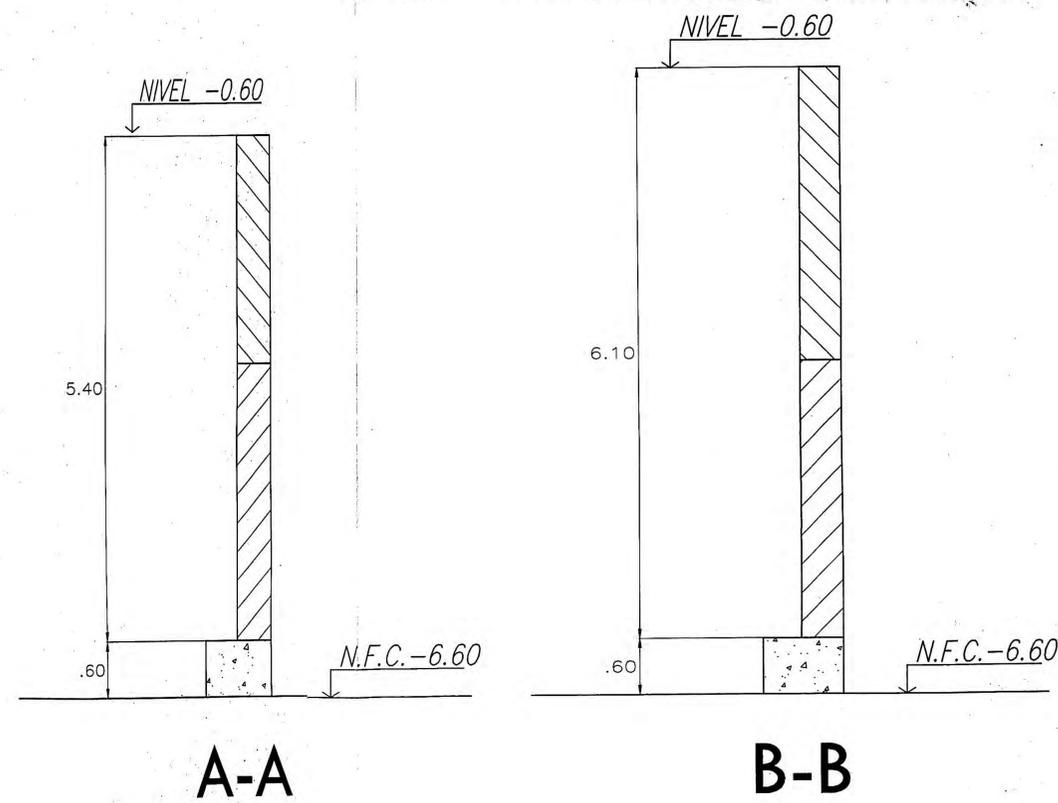
DISERO: C.W.C.T	FUENTE : ELABORACION PROPIA	
ESCALA: 1/50	PLANO: CALZADURAS	LAMINA: E-01
FECHA: 2013	OBRA: EDIFICIO MULTIFAMILIAR	

ANEXO E

DISTRIBUCION DE ANCLAJES DEL PRIMER NIVEL
DEL MURO PANTALLA ANCLADA - LADO DERECHO



EJE DEL 1 AL 10
ELEVACION MURO EJE M-M



1

10

LEYENDA

EL SIGNO (+) INDICA EL PUNTO DE ANCLAJE DONDE SE APLICA
60 TONELADAS DE FUERZA
LA NUMERACION 1,2,3,..... 11,12 INDICA EL ORDEN DE CONSTRUCCION DE MURO PANTALLA

DISEÑO: C.W.C.T	FUENTE : ELABORACION PROPIA
ESCALA: 1/50	PLANO: MURO PANTALLA ANCLADA
FECHA: 2013	OBRA: EDIFICIO MULTIFAMILIAR

LAMINA :
E-02