

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

**Evaluación de la eficiencia de muros de contención en función de sus
propiedades geométricas.**

AUTORES:

Anda Romero, Joel Josue

Herrera Veliz, Jordan Jaret

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de

INGENIERO CIVIL

TUTOR:

Ing. Hernández Barredo, Jaime Francisco, M.Sc.

Guayaquil, Ecuador

12 de septiembre del 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Anda Romero, Joel Josue y Herrera Veliz, Jordan Jaret** como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____

Ing. Hernández Barredo, Jaime Francisco, M.Sc.

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther, M.Sc.

Guayaquil, a los 12 del mes de septiembre del año 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Anda Romero, Joel Josue**
Herrera Veliz, Jordan Jaret

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, **Evaluación de la eficiencia de muros de contención en función de sus propiedades geométricas**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 12 del mes de septiembre del año 2023

AUTORES:

f. _____
Anda Romero, Joel Josue

f. _____
Herrera Veliz, Jordan Jaret



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Anda Romero, Joel Josue**
Herrera Veliz, Jordan Jaret

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Evaluación de la eficiencia de muros de contención en función de sus propiedades geométricas**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 12 del mes de septiembre del año 2023

AUTORES:

f. _____
Anda Romero, Joel Josue

f. _____
Herrera Veliz, Jordan Jaret

REPORTE COMPILATO



ANDA_JOEL, HERRERA_JORDAN_FINAL

< 1%
Similitudes



< 1% Texto entre comillas
0% similitudes entre comillas
16% Idioma no reconocido

Nombre del documento: ANDA_JOEL, HERRERA_JORDAN_FINAL.docx
ID del documento: 02ab19de8b232251583e1b4ffa9df6553ac15a5c
Tamaño del documento original: 2,11 MB

Depositante: Clara Catalina Glas Cevallos
Fecha de depósito: 26/9/2023
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 26/9/2023

Número de palabras: 19.812
Número de caracteres: 132.680

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	localhost Evaluación de alternativas para mejorar el desempeño de columnas de... http://localhost:8080/html/bitstream/3317/17462/3/T-UCSG-PRE-ING-IC-415.pdf.txt 6 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (417 palabras)
2	localhost Determinación de la capacidad portante de arcillas duras y lutitas en l... http://localhost:8080/html/bitstream/3317/11689/T-UCSG-PRE-ING-IC-251.pdf.txt 8 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (259 palabras)
3	localhost La prescripción en los procedimientos monitorios. http://localhost:8080/html/bitstream/3317/12068/3/T-UCSG-PRE-JUR-DEP-333.pdf.txt 7 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (242 palabras)
4	localhost Propuesta de un programa de capacitación y un manual piloto para los... http://localhost:8080/html/bitstream/3317/13425/3/T-UCSG-PRE-ESP-AETH-568.pdf.txt 2 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (243 palabras)
5	repositorio.unesum.edu.ec http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1218/1/UNESUM-ECUADOR-ING.CIVIL-2018-25.pdf 20 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (89 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #092097 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
2	nap.nationalacademies.org Seismic Analysis and Design of Retaining Walls, Buri... https://nap.nationalacademies.org/catalog/14189/seismic-analysis-and-design-of-retaining-walls-bu...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
3	1library.co Comportamiento Estático: • DISEÑO SÍSMICO DE MUROS DE CONTENC... https://1library.co/articulo/comportamiento-estatico-diseño-sismico-muros-contención.z3dm2ey	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
4	hdl.handle.net Diseño de muros de contención para el mejoramiento de la estab... https://hdl.handle.net/20.500.12692/40124	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)
5	hdl.handle.net *Análisis comparativo de estructuras de contención y propuesta d... https://hdl.handle.net/20.500.12692/28557	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://retainpro.com/pdf/basiclooksinside.pdf>
- <https://ocw.ehu.eus/file.php/84/tema-8/teoria-tema-8.pdf>
- <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/156/1/T-UC-0011-5.pdf>
- <https://doi.org/10.17226/14189>
- <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme la oportunidad de completar una de las metas que me propuse y brindarme las fuerzas para superar las adversidades que se me fueron presentando.

A mis padres por siempre estar presente y ser ese pilar fundamental en mi vida, los cuales me enseñaron a nunca rendirme y luchar por mis aspiraciones, sin ellos este camino habría sido más complicado.

A mi abuelita quien siempre estuvo a mi lado en aquellas largas noches de estudios, preocupada y emocionada cada que llegaba y le decía que me fue bien.

A mi hermana y su enamorado, que estuvieron ahí para sacarme una sonrisa o enojarme más por un buen día o malo.

A mis amigos y amigas que estuvieron presentes durante esta trayectoria, pasando buenos y malos momentos a lo largo de la carrera. A mis compañeros Ariana, Cristhian, Jordán, Meylyn quienes siempre estuvieron presente para reírnos, enojarnos y ayudarnos en todo momento. De manera especial a mis compañeras Marena y Amy, que estuvieron inmersas en este trabajo, brindándonos su ayuda.

A mi tutor, el Ingeniero Jaime Hernández por brindarme la oportunidad de trabajar con el en este trabajo de titulación.

Y a mi compañero fiel, mi compañero de desvelos, quien siempre estuvo a mi lado, sea la hora que sea estaba ahí, y solo bastaba verlo para no sentirme solo y poder seguir estudiando, gracias Peluchin.

Gracias por su apoyo, de todo corazón.

Joel Josue Anda Romero

DEDICATORIA

A Dios.

A mi Padre, quien siempre confió en mi desde el primer día. Por su sacrificio y apoyo constante.

A mi Madre, quien a pesar de decirle muchas veces no puedo, ella seguía teniendo fe en que lo lograría.

A mi abuelita, que con sus oraciones me hizo luchar para alcanzar esta meta

A mi hermana, ejemplo de motivación.

Joel Josue Anda Romero

AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarme salud y sabiduría para afrontar los problemas diarios.

A mis padres, Roxana Veliz y Nelson Herrera, quienes son polos opuesto y me ayudaron a encontrar un equilibrio en mi vida. Gracias por enseñarme a ser mejor persona y trabajar duro por mis metas. A mis hermanos menores, Jarod, Jireth y Milha, por motivarme a esforzarme día a día y aspirar a ser un modelo a seguir para ustedes.

A mi novia, Ivannia, por enseñarme a apreciar y disfrutar de las pequeñas cosas de la vida. Desde el comienzo de mi carrera, ha sido mi apoyo inquebrantable, estando a mi lado en los momentos buenos y difíciles de esta etapa.

A mi compañero de tesis, quien desde el preuniversitario supo ganarse el cariño de los demás. Gracias por tu paciencia y arduo esfuerzo en el presente trabajo.

A mis amigos, Ariana, Joel, Jonathan y Patricio, quienes fueron referencia de excelencia académica incentivándome a superarme constantemente, gracias a ustedes y a todos mis compañeros de carrera por las grandes experiencias vividas. Y de manera especial para mis amigas, Marena y Amy, por su participación en este trabajo, demostrando siempre su disposición y apoyo desinteresado.

A mi tutor, Ing. Jaime Hernández, por su compromiso y confianza en este trabajo de titulación. Gracias por sus enseñanzas y la oportunidad de adquirir experiencia.

Por último, quiero expresar mi gratitud hacia mis queridas mascotas, quienes siempre me reciben con alegría y han sido leales compañeros durante las largas noches de estudio y trabajo universitario.

De corazón, muchas gracias.

Jordan Jaret Herrera Veliz

DEDICATORIA

A mis padres, por su apoyo durante mi trayecto universitario y ser el ejemplo de superación diaria. Sin su influencia, enseñanzas y respaldo, no hubiera logrado estar en el punto que me encuentro hoy en día.

Jordan Jaret Herrera Veliz



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MSc.

DIRECTORA DE CARRERA

f. _____

Ing. Guillermo Ponce Vásquez, MSc.

DELEGADO

f. _____

Ing. José Barros Cabezas, Ph.D.

OPONENTE

ÍNDICE

CAPITULO I: Introducción	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Objetivo General.....	3
1.3. Objetivos Específicos	3
1.4. Alcance	3
CAPITULO II: Marco Teórico.	4
2.1. Muros de contención.....	4
2.1.1. Elementos del Muro de Contención	4
2.1.2. Tipos de Muro de Contención	6
2.2. Cargas Actuantes	10
2.2.1. Presión Lateral del Suelo.	11
2.2.2. Presión Activa	13
2.2.3. Presión Pasiva.....	14
2.2.4. Presión por Acción Sísmica.....	15
2.3. Estados Límites de Carga	20
2.3.1. Combinaciones y Factores de Carga	21
2.3.2. Factores de Reducción-Resistencia	22
2.3.3. Revisión de la Estabilidad	23

2.3.4. Chequeo de Excentricidad.....	24
2.3.5. Chequeo de Deslizamiento.....	25
2.3.6. Chequeo de Presiones en la Base.....	26
2.4. Predimensionamiento del Muro.....	30
2.5. Diseño del Muro.....	32
2.5.1. Revisión a Flexión.....	33
2.5.2. Acero por Temperatura.....	34
2.5.3. Revisión a Corte.....	35
2.5.4. Diseño de la Pantalla.....	37
2.5.5. Diseño de la Base.....	37
2.6. Costo.....	38
CAPITULO III: Metodología.....	39
3.1. Problemática del Estudio.....	39
3.1.1. Variables de Análisis.....	40
3.1.2. Datos Asumidos.....	42
3.1.3. Tipos de Suelos.....	44
3.1.4. Diseño del Muro.....	45
3.1.5. Costos Referenciales.....	47
CAPITULO IV: Resultados.....	49

4.1. Proceso de Análisis	49
4.1.1. Dimensiones Óptimas.....	49
4.1.2. Relaciones de los Elementos del Muro	51
CAPITULO V: Interpretación de Resultados	54
5.1. Análisis Comparativo	54
5.1.1. Relación B/H.....	54
5.1.2. Relación X/B	55
5.1.3. Relación t_w/H	56
5.1.4. Relación h_1/H	57
5.1.5. Costos	58
5.2. Análisis del Segundo Caso de Estudio	59
5.2.1. Interpretación de Resultados (2do Caso).....	61
5.3. Comparación entre 1er y 2do Caso.....	65
5.4. Rango de Relaciones Geométricas.	66
Epílogo	68
Conclusiones	69
Recomendaciones.....	69
Referencias	71
ANEXOS A.....	74
ANEXOS B.....	78

ANEXOS C..... 80

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Elementos de un muro de contención</i>	5
Figura 2 <i>Tipos de muro de gravedad y semi gravedad</i>	7
Figura 3 <i>Tipos de muros de contrafuerte</i>	8
Figura 4 <i>Tipos de muros en voladizo</i>	9
Figura 5 <i>Cargas actuantes sobre un estribo o muro de contención</i>	10
Figura 6 <i>Tipo de Suelo y Factores de lugar F_a</i>	18
Figura 7 <i>Punto de aplicación para la resultante según M-O y Seed & Whitman</i>	19
Figura 8 <i>Combinaciones de cargas típicas</i>	21
Figura 9 <i>Tipos de fallas en muro de contención</i>	23
Figura 10 <i>Distribución de esfuerzo en suelos blandos</i>	28
Figura 11 <i>Distribución de esfuerzos en suelos rocosos</i>	29
Figura 12 <i>Predimensionamiento de muro de contención según ACI (2014).</i>	31
Figura 13 <i>Predimensionamiento de muros de contención según Belandria (2008)</i>	32
Figura 14 <i>Secciones críticas de cortante en la base del muro</i>	36
Figura 15 <i>Representación de las variables de análisis</i>	42
Figura 16 <i>Distribución del acero del muro contención</i>	47
Figura 17 <i>Relación B/H de los diferentes tipos de suelos</i>	55
Figura 18 <i>Relación x/B de los diferentes tipos de suelos</i>	56

Figura 19 <i>Relación tw/H de los diferentes tipos de suelos</i>	57
Figura 20 <i>Relación $h1/H$ de los diferentes tipos de suelos</i>	58
Figura 21 <i>Costo de los muros de contención respecto a su geometría eficiente</i>	59
Figura 22 <i>Relación B/H - 2do Caso de Estudio</i>	61
Figura 23 <i>Relación x/B-2do Caso de Estudio</i>	62
Figura 24 <i>Relación tw/H -2do Caso de Estudio</i>	63
Figura 25 <i>Relación $h1/H$ -2do Caso de Estudio</i>	64
Figura 26 <i>Costo de los muros de contención respecto a su geometría eficiente – 2do Caso</i>	65

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Factores de combinación de cargas según su estado límite</i>	22
Tabla 2 <i>Rangos establecidos de las variables escogidas</i>	41
Tabla 3 <i>Datos correspondientes a los tipos de materiales, condiciones geotécnicas y sísmicas</i>	43
Tabla 4 <i>Límites de Excentricidad y Capacidad Portante para los tipos de suelos</i>	45
Tabla 5 <i>Dimensiones óptimas respecto a la altura y tipo de suelo (B)</i>	50
Tabla 6 <i>Dimensiones óptimas respecto a la altura y tipo de suelo (D)</i>	50
Tabla 7 <i>Dimensiones óptimas respecto a la altura y tipo de suelo (E)</i>	51
Tabla 8 <i>Relación Base vs Altura</i>	51
Tabla 9 <i>Relación Posición de Pantalla vs Base</i>	52
Tabla 10 <i>Relación Espesor de Pantalla vs Altura</i>	52
Tabla 11 <i>Relación Espesor de Zapata vs Altura</i>	53
Tabla 12 <i>Capacidades portantes para 2do Caso de Estudio</i>	60
Tabla 13 <i>Rangos Rocosos y Blandos</i>	67
Tabla 14 <i>Dimensiones óptimas respecto a la altura para tipo B</i>	74
Tabla 15 <i>Dimensiones óptimas respecto a la altura para tipo D</i>	74
Tabla 16 <i>Dimensiones óptimas respecto a la altura para tipo E</i>	75
Tabla 17 <i>Relación Base vs Altura</i>	75
Tabla 18 <i>Relación Posición de Pantalla vs Base</i>	76

Tabla 19 <i>Relación Espesor de Pantalla vs Altura</i>	76
Tabla 20 <i>Relación Espesor de Zapata vs Altura</i>	77
Tabla 21 <i>Fallas Predominantes en Suelo Rocoso – 1er Caso</i>	78
Tabla 22 <i>Fallas Predominantes en Suelo Blando (D) – 1er Caso</i>	78
Tabla 23 <i>Fallas Predominantes en Suelo Blando (E) – 1er Caso</i>	78
Tabla 24 <i>Fallas Predominantes en Suelo Blando (D) – 2do Caso</i>	79
Tabla 25 <i>Fallas Predominantes en Suelo Blando (E) – 2do Caso</i>	79

RESUMEN

El presente trabajo se ha enfocado en el análisis de la eficiencia de muros de contención en relación con su geometría. Se ha demostrado que la selección adecuada de parámetros geométricos como la base del muro, la posición de la pantalla, el espesor de la pantalla y la zapata, desempeñan un papel crucial en la estabilidad, resistencia y economía.

Se basa en el análisis mediante un código Python, que ha permitido evaluar múltiples combinaciones de variables geométricas y su influencia en la respuesta del muro. Los resultados obtenidos han proporcionado relaciones entre la altura del muro y sus componentes geométricos, considerando diferentes tipos de suelo y sus características específicas.

Se ha comprobado que la optimización geométrica no solo contribuye a la seguridad y estabilidad del muro, sino que también puede impactar significativamente en la económica del proyecto. La generación de gráficos y tablas que relacionan las variables geométricas con la altura del muro ofrece a los profesionales una idea para tomar decisiones en la fase de diseño.

Palabras clave: Muros, Eficiencia, Costos, Relaciones Geométricas, Gráficos, Estabilidad

ABSTRACT

The present work has focused on the analysis of the efficiency of retaining walls in relation to their geometry. It has been demonstrated that the appropriate selection of geometric parameters such as the wall base, screen position, screen and footing thickness, plays a crucial role in stability, strength, and economy.

The analysis is based on a Python code, which has allowed for the evaluation of multiple combinations of geometric variables and their influence on the wall's response. The obtained results have provided relationships between the wall's height and its geometric components, considering different types of soil and their specific characteristics.

It has been proven that geometric optimization not only contributes to the safety and stability of the wall but can also significantly impact the project's economics. Generating graphs and tables that relate geometric variables to the wall's height provides professionals with insight to make decisions in the design phase.

Keywords: Walls, Efficiency, Costs, Geometric Relationships, Graphs, Stability

CAPITULO I: Introducción

1.1. Antecedentes

Los muros están diseñados para soportar presiones laterales generadas por la tierra y deben cumplir con los requisitos de resistencia y seguridad. Suelen ser de hormigón armado debido a la capacidad de resistir los esfuerzos producidos por compresión y tensión, trabajan principalmente a flexión, y su demanda depende de varios factores como el tipo de suelo, las cargas esperadas, condiciones sísmicas y condiciones adversas como el ambiente.

Este trabajo se enfocará únicamente en muros en cantiléver sin contrafuertes, la eficiencia de los muros se los evaluará garantizando el cumplimiento de los diferentes estados límites de resistencia y se realizará el estudio para varias alturas de muros.

El trabajo propuesto tiene como objetivo obtener las dimensiones de muros en función de su altura, que proporcione soluciones más eficientes desde el punto de vista económico, cumpliendo con las normativas vigentes American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO] (2017) y con los costos actualizados de los rubros más importantes considerados.

Para muros de hormigón armado, los costos corresponden a las cantidades de material (acero y concreto), de excavación y relleno. Los costos de estos rubros y la relación de costos varían con el tiempo, quizá el diseño de muros de hace 30 años deje de ser la mejor solución económicamente hablando, actualmente. Adicionalmente, las especificaciones de diseño van cambiando con el tiempo; por lo que, la relación entre las dimensiones del muro podría cambiar.

1.2. Objetivo General

Determinar relaciones geométricas más eficientes de muros de hormigón armado en función de la altura de estos, usando la normativa AASHTO LRFD 2017, para proponer el diseño del muro más económico.

1.3. Objetivos Específicos

Determinar la geometría de muros más eficientes en función de su altura y algunos parámetros de diseño. Mediante un código Python se obtuvo las soluciones más eficientes, sus respectivas relaciones geométricas y costos referenciales.

Evaluar la variación en las relaciones geométricas más eficientes en función del tipo de suelo. (Rocoso y Blando).

Proponer rangos de relaciones geométricas, para facilitar el predimensionamiento del muro de contención.

1.4. Alcance

En el trabajo se presenta un código Python diseñado para optimizar el análisis y diseño de muros de retención. En particular, se aborda el enfoque de muros en cantiléver sin contrafuertes construidos con hormigón y dotados de relleno.

En lo que respecta al análisis, se adoptan y aplican los métodos de AASHTO LRFD 2017. Se toma en cuenta variables como la seguridad ante deslizamientos, la excentricidad y la capacidad portante del suelo. En cuanto al diseño estructural, se emplean los conceptos de esfuerzos cortantes y momentos flectores para obtener una configuración geométrica que optimice las consideraciones de los chequeos, demandas de acero y costos asociados.

CAPITULO II: Marco Teórico.

2.1. Muros de contención

Un muro de contención es una estructura vertical que tiene como propósito retener materiales geotécnicos y soportar las presiones hidrostática. Estos muros proporcionan un soporte lateral que estabilizan el suelo contra los empujes y movimiento de tierra. Además, son esenciales para la prevención del deslizamiento de tierra, erosión y otros problemas geotécnicos provocados por actividades humanas o fuerzas naturales (Municipality of North Cowichan, 2023).

Los muros de contención pueden ser construidos con diferentes materiales estructurales y geotécnicos, como es el hormigón estructural, acero, madera o piedra. Estos materiales dependen de factores como las condiciones del terreno, la altura y finalidad del muro (Municipality of North Cowichan, 2023).

Algunas de las finalidades de estos muros son la nivelación de terreno, estabilización de pendiente y corrección de desnivel. Los muros se usan para crear superficies niveladas en zonas con terreno irregular para facilitar la construcción de edificios o carreteras (Municipality of North Cowichan, 2023).

2.1.1. Elementos del Muro de Contención

Según Brooks & Nielsen (2013), los elementos de un muro de contención son la base de cimentación, la pantalla, la punta, el talón, el relleno, los aceros de refuerzo principal y de temperatura, y la cuña de la base. Estos elementos se muestran en la **Figura 1** y se definen de la siguiente manera:

Base: Zapata o cimentación del muro, actúa como la losa, está encargada de distribuir las cargas que interactúan en el muro al terreno.

Pantalla: Es el muro vertical por encima de la base, encargada de retener el relleno, este elemento se debe diseñar para resistir las presiones del suelo y transmitir los esfuerzos a la base.

Talón: Parte de la base que se extiende por debajo del relleno retenido.

Punta: Parte de la base opuesta al talón, en algunos casos estos pueden poseer un relleno de menor altura para darle mayor estabilidad al muro, aunque es más susceptible a la erosión.

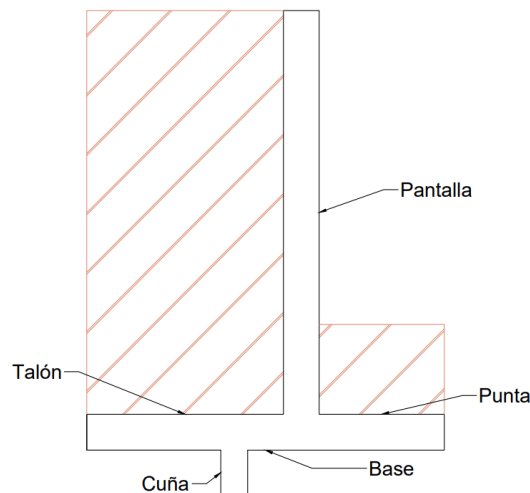
Cuña: Parte profundizada de la base que proporciona mayor resistencia al deslizamiento, sin embargo, este elemento puede ser opcional.

Acero de refuerzo principal: Son los refuerzos utilizados en la pantalla y base, se usan para resistir los esfuerzos a flexión y las presiones del suelo, respectivamente.

Acero de temperatura: Son refuerzos horizontales que se colocan en ambas caras de la pantalla y base, se usan para controlar el agrietamiento por contracción o cambios de temperatura.

Figura 1

Elementos de un muro de contención



Nota. El gráfico representa las partes que tiene un muro de contención.

2.1.2. Tipos de Muro de Contención

2.1.2.1 Muros de Gravedad.

Estos muros poseen diferentes secciones transversales, suelen ser construidos con hormigón, material con características para resistir esfuerzos a compresión y cortante, pero baja resistencia a tracción. Rodríguez (2022), refiere que los muros de gravedad “obtienen su capacidad para resistir cargas laterales del suelo a través de una combinación de peso muerto y resistencia al deslizamiento”.

Los muros de gravedad se caracterizan por usar su peso propio para generar estabilidad y resistencia a las fuerzas laterales de la tierra o los materiales de relleno, además, suelen ser sólidos y no necesitan más refuerzos. Son una opción adecuada y recomendable para alturas moderadas entre 3,00 a 3,50 metros (Lucero, Pachacama, & Rodríguez, 2012).

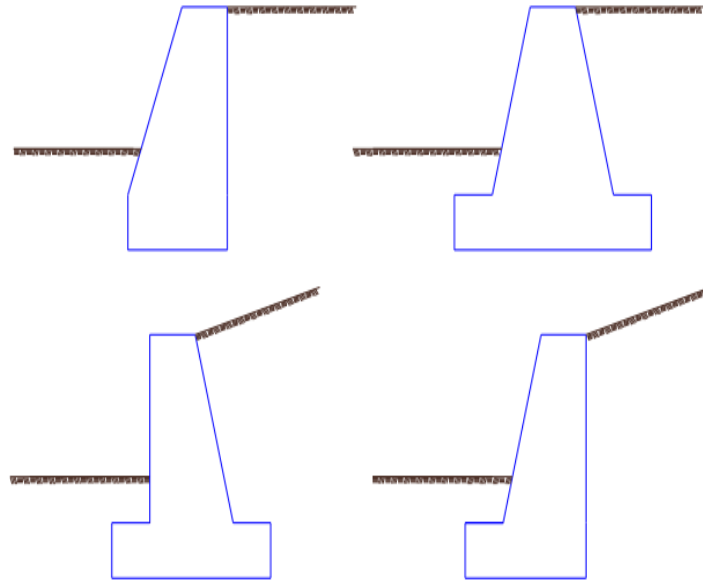
El análisis de la estructura de un muro de gravedad requiere verificar que cada parte pueda soportar esfuerzos de compresión y tracción iguales o inferiores a los límites establecidos por los códigos de construcción. Esto implica examinar cada sección para asegurar que resista las fuerzas que actúan sobre él y cualquier fuerza lateral (Lucero, Pachacama, & Rodríguez, 2012).

2.1.2.2 Muros de Semi Gravedad.

Los muros de semi gravedad son menos voluminosos que los muros de gravedad como se muestra en **Figura 2**. Necesitan ser reforzados tanto en la cubierta como en la zapata, con un refuerzo principal que proporcione soporte y uno secundario que proteja contra los cambios de temperatura (Universidad Europea de Madrid, 2016). Estos muros suelen ser adecuados para alturas de hasta 4 metros (Ordoñez, 2017).

Figura 2

Tipos de muro de gravedad y semi gravedad



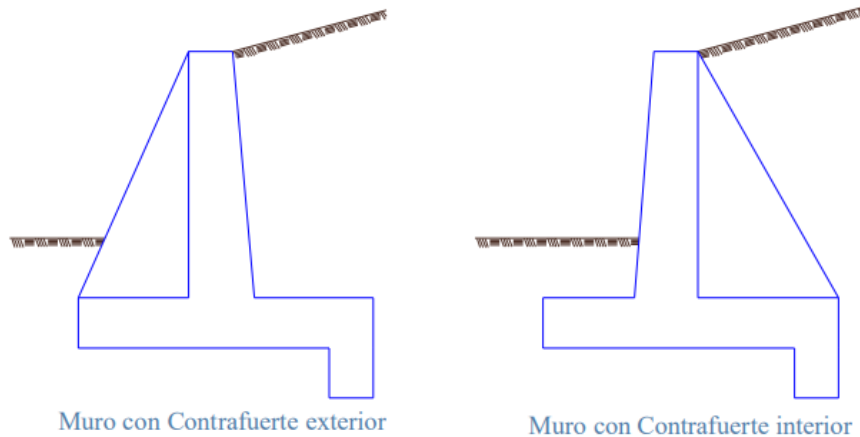
Nota. Se representa las diferentes formas que un muro de semi-gravedad puede tener de acuerdo a las especificaciones necesarias del terreno y cargas que va a soportar. Adaptado de *Guía multimedia para el diseño de muros a gravedad, muros en cantiléver y muros con contrafuertes* (p.3), por G. Campos, 2006, Universidad Técnica de Ambato.

2.1.2.3 Muros de Contrafuerte.

Según la **Figura 3** los muros en voladizo son aquellos donde se incorpora un muro de ala o contrafuerte, que se extiende desde el talón de la base hasta la parte superior de la pantalla, en donde los momentos son mayores, esto permite tener un menor espesor en la pantalla y ser estructuralmente eficiente. Sin embargo, este conlleva un elevado costo en la fabricación (Brooks & Nielsen, 2013).

Figura 3

Tipos de muros de contrafuerte



Nota. El gráfico muestra las diferentes formas que un muro de contrafuerte puede tener de acuerdo a las especificaciones necesarias del terreno tanto interior como exterior. Adaptado de *Guía multimedia para el diseño de muros a gravedad, muros en cantiléver y muros con contrafuertes* (p.5), por G. Campos, 2006, Universidad Técnica de Ambato.

2.1.2.4 Muros en Voladizo.

Actualmente son los más utilizados y se caracterizan por tener un volado que parte desde una zapata o base que corresponde a su cimentación. Además, se clasifican como elásticos debido a que son libres de moverse lateralmente al carecer restricciones (Brooks & Nielsen, 2013).

Como se observa en **Figura 4**, la parte inferior de la pantalla suele ser más gruesa, ya que el momento disminuye de abajo hacia arriba. Mientras tanto, la parte superior se hace lo más delgada posible cumpliendo el requisito de dimensión mínima para el hormigonado. La armadura

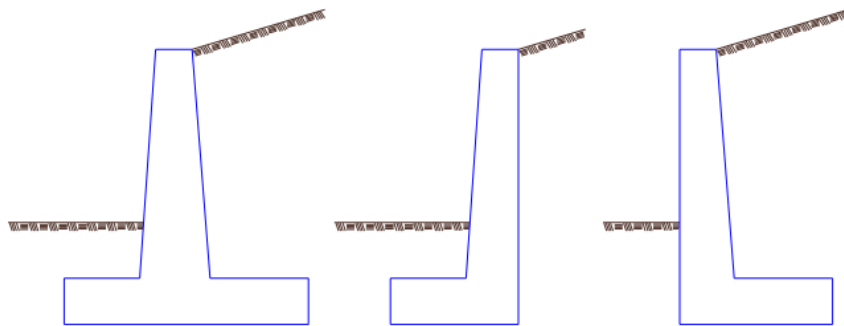
principal se coloca en planos verticales paralelos a la cara del muro y siguiendo los solapes especificados (Lucero, Pachacama, & Rodríguez, 2012).

El peso del relleno puede hacer que el talón se doble hacia abajo debido a la poca resistencia del suelo bajo la base, mientras que la presión del suelo sobre la punta tiende a doblarla en esa dirección. Para solucionar este problema, se colocan refuerzos en la parte superior para el talón y en la parte inferior para la punta. Además, se verifica el esfuerzo cortante para determinar el espesor de la base (Lucero, Pachacama, & Rodríguez, 2012).

La sección crítica se sitúa en el borde de la pantalla y suele construirse una vez terminada la base, colocando una cuña en la parte superior para evitar el deslizamiento de la pantalla y transmitir los esfuerzos cortantes entre la base y la pantalla. Se dejan pasadores en la base para permitir la unión con el refuerzo de la pantalla y la transmisión de los esfuerzos de flexión (Lucero, Pachacama, & Rodríguez, 2012).

Figura 4

Tipos de muros en voladizo



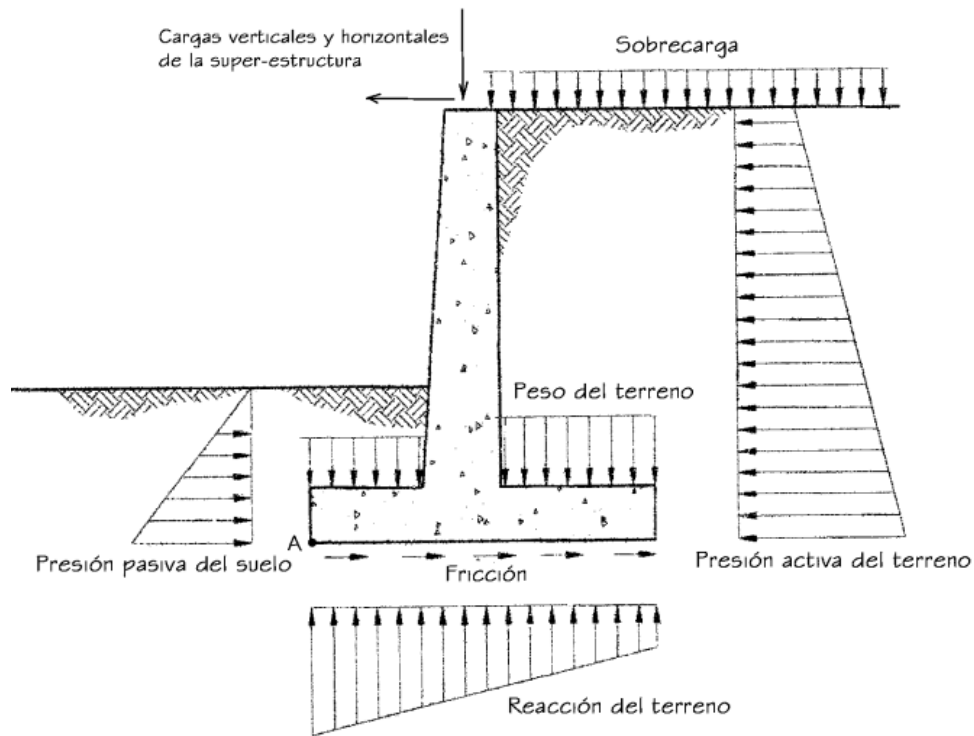
Nota. Un muro en voladizo puede tener diferentes ubicaciones terreno pasivo o activo. Adaptado de *Guía multimedia para el diseño de muros a gravedad, muros en cantiléver y muros con contrafuertes* (p.4), por G. Campos, 2006, Universidad Técnica de Ambato.

2.2. Cargas Actuantes

Según Rodríguez (2022) especifica que las cargas que actúan sobre un muro de contención se observan en la **Figura 5**, estas cargas son: el peso propio del muro y del relleno; los empujes de presión activa y pasiva del terreno; la reacción del suelo y la sobrecarga.

Figura 5

Cargas actuantes sobre un estribo o muro de contención



Nota. Se ilustran los pesos a considerar en los muros de contención, además de las presiones activas y pasivas del terreno. Adaptado de *Puentes* (p.248), por Rodríguez S. Arturo, 2022.

2.2.1. Presión Lateral del Suelo.

Las presiones del empuje del suelo se pueden basar en la teoría de Coulomb o de Rankine. El tipo de presión usado en el diseño depende si el muro tiene un comportamiento elástico, es decir si este permite los desplazamientos laterales. Para muros que permitan estos movimientos, se usarán las presiones activas del suelo, y para aquellos que no, se usará la presión en reposo del suelo (Washington State Department of Transportation [WSDOT], 2022).

Como se mencionó, los muros tienden a permitir los desplazamientos laterales, a menos que se tengan restricciones en ese sentido, por lo tanto, la presión activa será considerada para el diseño. En cuanto a la presión pasiva esta podrá ser usada mientras que se evalúe la erosión y posible remoción de relleno por socavación o futura excavación (WSDOT, 2022).

Esta presión se produce debido a diferentes factores, como el peso específico del suelo, ángulo de reposo e inclinación. A medida que aumenta la altura la fuerza tiende a incrementarse.

2.2.1.1. Propiedades Físico-Mecánicas de los Suelos

En un diseño adecuado de muros de contención se requiere tener en cuenta los parámetros geotécnicos. Estos datos deben incluir el peso específico del suelo, ángulo de fricción interna, la cohesión del suelo, entre otros factores. A partir de estos análisis se podrán determinar el empuje activo y pasivo. Tener estos datos permitirá una correcta interpretación para garantizar la seguridad, estabilidad antes las fallas de volteo, deslizamiento y capacidad de carga (Useda Rincón & Malaver Castillo, 2019).

2.2.1.2. Peso Específico del Suelo.

Es la relación entre el peso del suelo y su volumen. Hay diferentes tipos de peso específico, como el natural, seco o saturado, según las necesidades de análisis y dimensionamiento. Es importante mencionar que a medida que aumenta la profundidad del muro de contención, las fuerzas de empujes generadas por el peso del suelo ascienden, estas consideraciones deben ser tomadas en el diseño de la estructura (Ballón Benavente & Echenique Sosa, 2017).

2.2.1.3. Ángulo de Fricción Interna.

En la mecánica de suelos es una propiedad fundamental, especialmente en suelos con características granulares como gravas y arenas. Es la representación máxima que el ángulo puede tener en reposo antes de deslizarse. Este valor es influenciado por factores como la densidad, tamaño, forma y distribución de los granos. Se determina por la teoría del círculo de Mohr-Coulomb, mediante ensayos de corte directo (Ballón Benavente & Echenique Sosa, 2017).

2.2.1.4. Cohesión del Suelo.

Se refiere a la capacidad del suelo de poder resistir la separación de sus partículas y por su fuerza interna permite la adherencia entre ellas. En ciertos casos la cohesión puede ser nula en suelos granulares, pero en suelos finos puede tener un valor significativo (Ballón Benavente & Echenique Sosa, 2017).

2.2.1.5. Teoría Coulomb

En 1776, Coulomb presentó la teoría para analizar los empujes de tierra en muros de contención. La teoría se basa en equilibrar los límites de sección del suelo por la sección de la pantalla, considerando la acción entre la estructura y el suelo en una superficie de falla plana (Yepez Piqueras, 2019).

Coulomb simplifica el análisis, restringiendo la aplicación de la teoría a un caso de presión activa con una superficie de rotura plana, esta suposición es bien aceptada en el cálculo de presión activa de tierras. En el cálculo de la presión pasiva, la hipótesis es cuestionable, ya que las condiciones del suelo no son planas y tienden a variar. Además de estas hipótesis, la teoría se basa en varios principios fundamentales de la mecánica de suelos, tales como:

- La fricción se considera distribuida uniformemente a lo largo del plano de falla.
- La cuña de falla tiene un comportamiento rígido.
- El suelo posee fricción interna y cohesión, y se considera adecuadamente drenado para evitar presiones intersticiales.

2.2.1.6. Teoría de Rankine.

Se estima la masa de suelo como si estuviera en un equilibrio plástico, se asume que no habrá fricción entre el muro y el suelo. Esta teoría se basa en las siguientes hipótesis (Pachacama Caiza , Lucero Pardo , & Rodríguez Montero, 2012):

- a) El suelo es una masa isótropa y homogénea
- b) No existe fricción entre el suelo y el muro
- c) El parámetro interno del muro es siempre vertical, es decir se supone un ángulo de 90° .
- d) La resultante del empuje de tierras está aplicada a $1/3$ de la altura del muro, medida desde su base.

2.2.2. Presión Activa

Es el empuje del suelo contra el muro de contención, la presión se produce cuando el suelo junto al muro se encuentra suelto. La presión se da teniendo en cuenta que, si el muro se mueve en dirección del suelo habrá una rotación hacia fuera, por lo tanto, los esfuerzos

horizontales disminuyen, provocando que se produzca una falla por corte (Junta de Andalucía, 2018).

La presión activa se obtiene como se muestra en la ecuación (1) y el coeficiente de presión activa Ka , basada en la teoría de Coulomb se calcula a partir de las propiedades físicas del suelo y del ángulo de inclinación, como se indica en la ecuación (2) y (3).

$$Pa = \left(\frac{1}{2}\right)(\gamma_s)(H^2)(Ka) \quad (1)$$

$$Ka = \frac{(\cos((\phi - \beta)^2))}{\psi * (\cos((\beta^2)) * (\cos(\delta + \beta))} \quad (2)$$

$$\psi = \left(1 + \sqrt{\frac{(\sin(\phi + \beta) * (\sin(\phi - i)))}{(\cos(\delta + \beta)) * (\cos(i - \beta))}} \right)^2 \quad (3)$$

Donde:

δ = Ángulo de fricción entre relleno y muro

β = Ángulo que forma la superficie del relleno respecto de la horizontal

θ = Ángulo que forma el respaldo del muro respecto de la horizontal

i = Ángulo efectivo de fricción del suelo

2.2.3. *Presión Pasiva*

Se genera por el resultado de la interacción entre el terreno y la estructura. Es común en muros de contención cuando se encuentran empotrados en el suelo y actúa en sentido contrario a la presión activa, provocando que el suelo compacto proporcione una resistencia adicional al movimiento del muro. Además, el ángulo de inclinación del muro y la profundidad también es un

factor que influye en la presión, esta fuerza en ocasiones es crucial para prevenir el deslizamiento o colapso de la estructura (Camacho Ocaña & Sánchez Andrade, 2022).

La presión pasiva se obtiene como se muestra en la ecuación (4) y su coeficiente, basada en la teoría de Rankine, se calcula según el ángulo de fricción interna del suelo como se muestra en la ecuación (5).

$$Pp = \left(\frac{1}{2}\right)(\gamma_s)(Hp^2)(Kp) \quad (4)$$

$$Kp = tg\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)^2 \quad (5)$$

Donde:

Kp = Coeficiente de empuje lateral pasivo

2.2.4. Presión por Acción Sísmica

2.2.4.1. Análisis Pseudo-Estático.

El Ecuador al encontrarse en zonas con mucha peligrosidad sísmica, siendo propensa a tener sismos de alta magnitud, se divide en 6 zonas sísmicas, sin embargo, la zona 6 es la de más alta intensidad. Es necesario realizar los cálculos para tener un análisis sísmico completo de las estructuras, considerando la vulnerabilidad de estas. Dada esta realidad se debe calcular correctamente las fuerzas y presiones generadas por estos movimientos. La Norma Ecuatoriana de la Construcción [NEC] (2015) proporciona parámetros con los cuales se puede cuantificar la fuerza que se da por la acción sísmica del suelo al muro, si se presenta un movimiento sísmico, para el cálculo de esta fuerza no se distingue del tipo de muro o altura, por lo que se van a generar distintas fuerzas (Rojas , Peralta, Carranza , & Morales, 2011).

2.2.4.2. Método de Mononobe-Okabe (M-O).

Se basa en el trabajo de Mononobe y Okabe (M-O) a causa del gran terremoto de 1923 en Kanto, Japón. El cual usa un análisis pseudo-estático basada en la ley de Coulomb para la presión activa e incluye las fuerzas sísmicas horizontales y verticales (Sitar, Candia, & Geraili, 2016). El principio del método es que la presión lateral sísmica del muro es proporcional a la aceleración sísmica y una cierta fuerza de inercia (Lucero, Pachacama, & Rodríguez, 2012).

Según “National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine” (2008) el empuje total activo se calcula de acuerdo con el método de Mononobe-Okabe como se muestra en la ecuación (6) y considera el coeficiente de empuje total, como se observa en las ecuaciones(7) y (8). Se puede apreciar una similitud en las ecuaciones de presión activa, sin embargo, se diferencia debido a la variable θ que se calcula como se muestra en la ecuación (9), el cual considera los coeficientes horizontal y vertical de aceleración sísmica.

$$PAE = \left(\frac{1}{2}\right) (\gamma_s)(H^2)(1 - K_v)(KAE) \quad (6)$$

$$KAE = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \beta)}{\cos(\theta) \cos^2(\beta) \cos(\delta + \beta + \theta) * \psi} \quad (7)$$

$$\psi = \left(1 + \sqrt{\frac{(\sin(\phi + \beta) * (\sin(\phi - \theta - i)))}{(\cos(\delta + \beta + \theta)) * (\cos(i - \beta))}} \right)^2 \quad (8)$$

Donde:

PAE = Empuje total activo

KAE = Coeficiente de empuje total

Kh = coeficiente horizontal de aceleración sísmica

K_v = coeficiente vertical de aceleración sísmica

$$\theta = \text{atan} \left(\frac{Kh}{1 - K_v} \right) \quad (9)$$

Según AASHTO (2017) el coeficiente horizontal de aceleración sísmica se calcula como se indica en la ecuación (10), asumiendo que el muro no tendrá desplazamiento. Sin embargo, si el muro es libre de moverse lateralmente bajo las cargas sísmicas, el coeficiente kh puede reducirse en un 50%, como se muestra en la ecuación (11). El valor de kh se define como la mitad del pico máximo de aceleración sísmica esperado en función de la región geográfica, según estipula la normativa NEC (2015).

El coeficiente vertical de aceleración sísmica no se considera para el diseño del muro, ya que las aceleraciones verticales de mayor frecuencia están desfasadas con respecto a las aceleraciones horizontales y tendrán contribuciones positivas a las presiones del muro (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2008). Es decir, para garantizar un enfoque conservador, se opta por asignar un valor nulo al coeficiente kv .

$$k_{ho} = (F_{pga})(PGA) \quad (10)$$

$$kh = 0.5(k_{ho}) \quad (11)$$

Donde:

F_{pga} = factor de lugar

PGA = coeficiente sísmico de aceleración horizontal máximo del terreno en roca

Según la NEC (2015) el valor de ***P_{ga}*** usado en el AASHTO corresponde al valor de ***Z***, cuyo valor es la máxima aceleración en roca esperada para el sismo de diseño. Y el ***F_{pga}*** es el valor de ***F_a*** el cual se observa en **Figura 6**.

Figura 6

Tipo de Suelo y Factores de lugar F_a

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Nota. Valores de ***F_a*** correspondiente a sus respectivas aceleración y tipos de suelos. Adaptado de *Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente* (p.31), por Norma Ecuatoria de la construcción. [NEC], 2015.

La ecuación (6) representa el empuje activo total sobre el muro durante la carga sísmica y Mononobe y Okabe consideraron que el punto de aplicación de su resultante está a un tercio de su altura ($1/3 * H$). Sin embargo, Seed & Whitman propusieron separar el empuje total en una componente estática y dinámica, en la ecuación (12) se observa el empuje activo dinámico, el cual la resultante obtenida se debe aplicar a $0.6H$, introduciendo así el concepto del “triángulo

invertido” en su distribución del incremento de la fuerza dinámica (Sitar, Candia, & Geraili, 2016).

$$E_q = PAE - PA \quad (12)$$

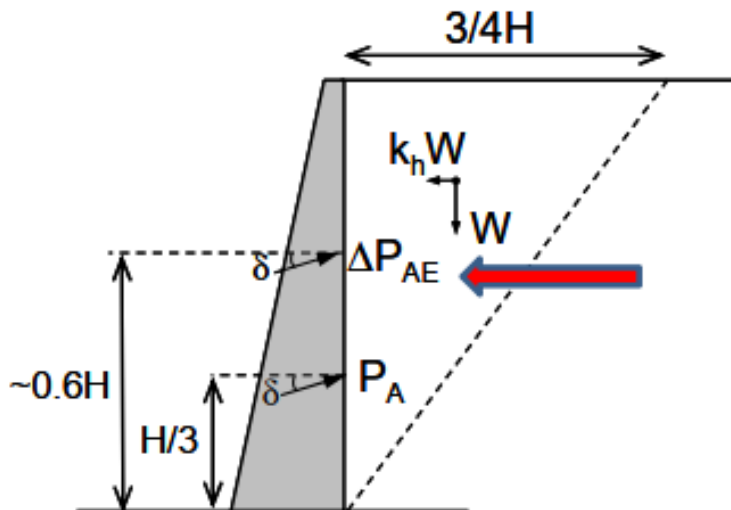
Donde:

E_q = empuje activo dinámico

En la **Figura 7** se puede apreciar la diferencia entre lo propuesto por M-O y Seed & Whitman, donde M-O indica que la resultante del empuje activo total se encuentra a un tercio de su altura medida desde su base ($H/3$), mientras que la resultante del empuje activo dinámico está a $0.6H$.

Figura 7

Punto de aplicación para la resultante según M-O y Seed & Whitman



Nota. La ubicación apropiada para las consideraciones según M-O y Seed & Whitman. Adaptado de *Seismic Earth Pressures on Retaining Structures and Basement Walls in Cohesionless Soils*, por American Society of Civil Engineers [ASCE] (2016).

Según AASHTO (2017) la fuerza lateral total que se aplica sobre el muro durante los efectos sísmicos se obtiene al combinar los efectos de empuje total activo (P_{AE}) y la fuerza inercial horizontal de la masa del muro debido a la carga sísmica (P_{IR}), el cual se calcula en la ecuación (13).

$$P_{IR} = k_h(W_s + W_w) \quad (13)$$

Donde:

P_{IR} = fuerza inercial horizontal de la masa del muro debido a la carga sísmica

W_w = peso del muro

W_s = peso del suelo

Para analizar la estabilidad y elaborar el diseño del muro según AASHTO (2017), es necesario considerar el valor más conservador de:

$$P_{AE} + 0.5P_{IR}$$

$$(0.5P_{AE} \geq EH) + P_{IR}$$

2.3. Estados Límites de Carga

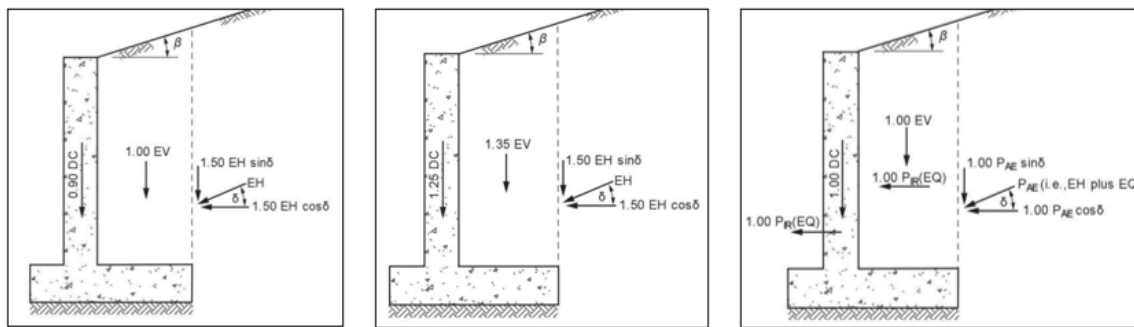
Según AASHTO (2017), los elementos estructurales deben satisfacer los estados límites de Resistencia, Evento Extremo y Servicio. El estado límite de resistencia garantiza la estabilidad ante las combinaciones de cargas especificadas. El Evento Extremo asegura la supervivencia estructural durante un terremoto. El estado límite de servicio es aquel que revisa las deformaciones, asentamiento y deflexiones.

2.3.1. Combinaciones y Factores de Carga

Según AASHTO (2017) el diseño de un muro debe satisfacer los estados límites. Por lo tanto, se debe aplicar las siguientes combinaciones de cargas como se establecen en la **Figura 8** las cuales representan combinaciones típicas para el análisis de Excentricidad, Deslizamiento, y Presiones en la Base, respectivamente. Además, corresponde a la combinación de cargas cuando se consideran los efectos sísmicos.

Figura 8

Combinaciones de cargas típicas



a) Combinación para revisión de excentricidad y deslizamiento.

b) Combinación para revisión de presiones en la base.

c) Combinación para evento extremo

Nota. El gráfico muestra las posibles combinaciones que se puede utilizar para la revisión de los chequeos de estabilidad de un muro. Adaptado de *Walls, Abutments, and Piers* (Section 11), por AASHTO, (2017).

En la **Tabla 1** se observan los factores de carga según su estado límite.

Tabla 1

Factores de combinación de cargas según su estado límite

	<i>Factores</i>		
	<i>a) Resistencia 1</i>	<i>b) Resistencia 2</i>	<i>c) Evento Extremo I</i>
DC	0.9	1.25	1.00
EV	1.00	1.35	1.00
EH	1.50	1.50	1.00
EQ	-	-	1.00

Nota. Factores escogidos para las respectivas revisiones de Resistencias y Evento Extremo I, estos factores son de acuerdo a la **Figura 8**. Adaptado de *Walls, Abutments, and Piers* (Section 11), por AASHTO, (2017).

Donde:

DC = Peso propio de los componentes estructurales y no estructurales

EV = Presión vertical del peso propio del suelo de relleno

EH = Empuje horizontal del suelo

EQ = Carga por acción sísmica

2.3.2. Factores de Reducción-Resistencia

Además de los factores de mayoración para las cargas actuantes sobre el muro, se debe aplicar un factor de reducción para la resistencia, de acuerdo con AASHTO (2017) estos factores varían dependiendo del estado límite, como se muestra a continuación:

a) *Estado límite de Resistencia:*

Los factores de resistencia son 1.0 para la condición de deslizamiento, y 0.55 para la resistencia de presiones sobre la base.

b) *Estado límite de Evento Extremo I:*

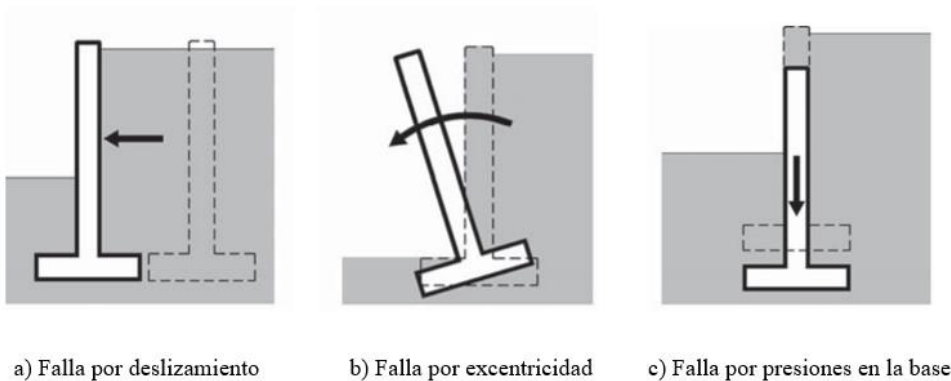
Los factores de resistencia deben ser tomados como 1.0 para el análisis de deslizamiento y excentricidad, y un factor de 0.8 para la resistencia de presiones sobre la base.

2.3.3. *Revisión de la Estabilidad*

Los muros de contención se deben diseñar de tal forma que su geometría asegure su estabilidad (Rodríguez Serquén, 2022). Las revisiones que se deben realizar son contra las fallas: Presiones en la Base, Deslizamiento y Excentricidad (AASHTO, 2017). En la **Figura 9** se observa las fallas que pueden ocurrir en los muros de contención.

Figura 9

Tipos de fallas en muro de contención



Nota. Se puede observar las posibles fallas que se presentan en un muro contención, si este no ha sido bien diseñado. Adaptado de *The Reinforced Concrete Design Handbook A Companion to ACI 318-14* (Chapter 12 – Retaining Walls, p. 9), por ACI, (2014).

2.3.4. *Chequeo de Excentricidad.*

Se debe asegurar que el diseño del muro no se voltee, y cumplir que los momentos desestabilizantes sean menores que los estabilizantes. Estos momentos son aquellos generados por el peso de la estructura y del relleno, se generan en la base del muro y son esfuerzos que tratan de girar la estructura alrededor de su talón. Entran consideraciones tales como la geometría del muro, características del suelo y cargas (Ballón Benavente & Echenique Sosa, 2017).

Según la normativa AASHTO (2017) esta revisión ya no se realiza con la relación entre el momento estabilizante y momento de volcamiento, en su lugar se revisa con la ubicación de la resultante, es decir con límites de excentricidad. La revisión se cumple cuando la excentricidad de la resultante es menor o igual al límite de excentricidad o excentricidad máxima. La excentricidad se calcula con respecto al punto central de la base y se expresa como en la ecuación (14) (Rodríguez Serquén, 2022).

$$e \leq e_{max}$$
$$e = \frac{B}{2} - \frac{M_{vu} - M_{hu}}{V_u} \quad (14)$$

Donde:

M_{vu} : Momento resistente mayorado

M_{hu} : Momento de volteo mayorado

V_u : Fuerzas verticales mayoradas

Estos varían según el estado límite y depende del tipo de suelo sobre el que está asentado el muro, como se muestra a continuación:

Límites de excentricidad:

a) *Estado límite de Resistencia:*

Suelo blando

La excentricidad debe estar dentro de los dos tercios centrales, es decir:

$$e \leq B/3$$

Suelo rocoso

Se deberá mantener dentro de los nueve decimos centrales, es decir:

$$e \leq 0.45B$$

b) *Estado límite de Evento Extremo 1:*

Según AASHTO (2017) este límite depende del valor de y_{EQ} que es el factor de mayoración para la carga viva y este debe ser especificada según el proyecto, sin embargo, en ediciones pasadas este factor se considera nulo ($y_{EQ} = 0$). Si y_{EQ} es igual a cero la excentricidad se debe mantener en la base dentro de los dos tercios centrales ($B/3$), indiferente de si se trata de suelo blando o rocoso. Si $y_{EQ} = 1$, la resultante deberá estar dentro de los ocho decimos centrales. Si para efectos de algún proyecto en específico este valor de y_{EQ} es diferente, este límite se deberá interpolar de forma lineal.

2.3.5. Chequeo de Deslizamiento.

Es aquella falla producida por el empuje excesivo de la tierra, estas tratan de movilizar al muro en la dirección de aplicación de la fuerza, pero esta se encuentra en oposición a la fuerza de fricción que surge debido a la interacción entre el muro y el suelo. Esta resistencia debe ser mayor

o igual a las cargas horizontales aplicadas para que se cumpla (Báez Lozada & Echeverri López, 2015).

La resistencia contra la fuerza de deslizamiento se calcula en la ecuación (15) y se da debido a la fuerza vertical sobre el muro y a la fricción con el relleno. Además, la resistencia se ve afectada por el factor “C” que depende de la metodología constructiva del muro (AASHTO, 2017).

$$R_t = C \cdot V \tan \phi \quad (15)$$

Donde:

$C = 1$ para concreto vaciado en sitio

$C = 0.8$ para concreto prefabricado

V = fuerza vertical total sobre el cimiento

2.3.6. Chequeo de Presiones en la Base.

La presión vertical ejercida por la base del muro de contención y transmitida al suelo, no deberá exceder la capacidad máxima del suelo, de tal manera fallaría el elemento. Debido a esta presión vertical por el peso del muro y el relleno colocado en las partes de la zapata este llegará a sufrir asentamientos, provocando que exista fisuras o en ciertos casos el colapso (Ballón Benavente & Echenique Sosa, 2017).

Según AASHTO (2017), la revisión contra la falla de presiones en la base se cumple al satisfacer la ecuación (16). La capacidad portante se obtiene de un estudio geotécnico y el estado límite se va a aplicar con un factor de reducción de 0.55 para Resistencia y 0.8 para Evento Extremo.

$$\varphi_b q_n > \sigma_{v \max} \quad (16)$$

Donde:

$\sigma_{v \max}$ = esfuerzo máximo

$\varphi_b q_n$ = resistencia nominal de presiones sobre la base

φ_b = factor de reducción de resistencia

Los esfuerzos calculados se debe aplicar las cargas mayoradas según su estado límite y dependen del tipo del suelo, blando o rocoso, estos varían en la distribución de esfuerzos.

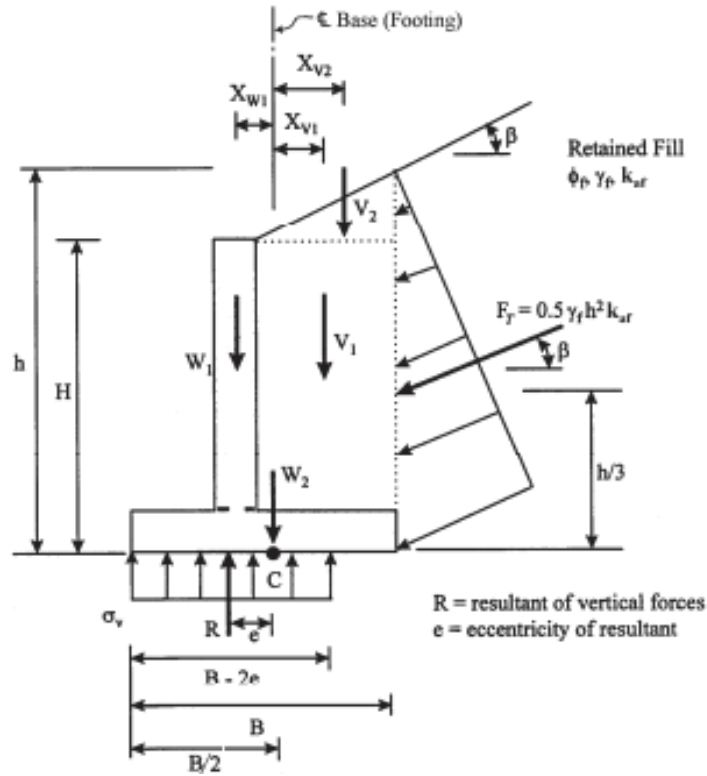
Suelo Blando:

En suelo blandos la distribución de esfuerzo se considera uniforme, como se observa en la **Figura 10** y el esfuerzo máximo se calcula en la ecuación (17) (AASHTO, 2017).

$$\sigma_{v \max} = \frac{\Sigma V}{B - 2e} \quad (17)$$

Figura 10

Distribución de esfuerzo en suelos blandos



Nota. Se muestra la distribución que puede tener el muro suelos de características blandas.

Adaptado de *Walls, Abutments, and Piers* (Section 11), por AASHTO, (2017).

Suelo Rocoso:

Para suelo rocoso la distribución de esfuerzo es linealmente distribuida por lo que se obtienen esfuerzos máximo y mínimo, como se observa en la **Figura 11**. Además, para la ecuación de esfuerzo máximo se debe considerar si la resultante está o no dentro del medio un-tercio de la base (AASHTO, 2017).

- Para excentricidad dentro del medio un-tercio de la Base, el esfuerzo máximo y mínimo se calcula como en las ecuaciones (18) y (19), respectivamente.

$$\sigma_{v \max} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 + 6 \frac{e}{B} \right) \quad (18)$$

$$\sigma_{v \min} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 - 6 \frac{e}{B} \right) \quad (19)$$

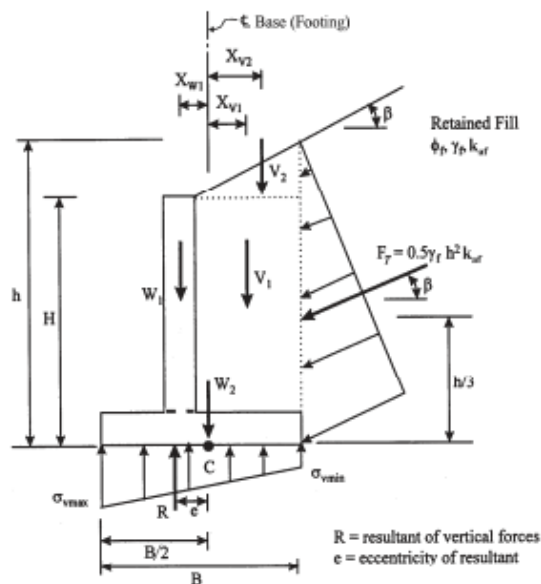
- Para excentricidad fuera del medio un-tercio de la Base, el esfuerzo máximo se calcula en la ecuación (20):

$$\sigma_{v \max} = \frac{2 \Sigma V}{3 \left[\left(\frac{B}{2} \right) - e \right]} \quad (20)$$

Es decir que, si la resultante pasa el medio un tercio de la base, se debe calcular la redistribución del esfuerzo.

Figura 11

Distribución de esfuerzos en suelos rocosos



Nota. El gráfico señala la distribución que puede tener el muro en suelos de características rocosas.

Adaptado de *Walls, Abutments, and Piers* (Section 11), por AASHTO, (2017).

2.4. Predimensionamiento del Muro

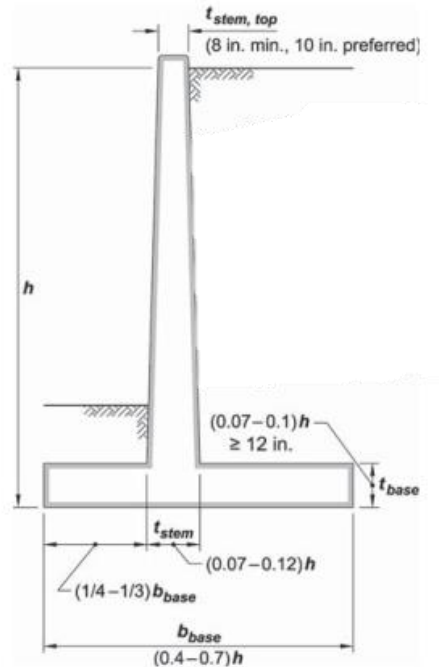
Durante el proceso de diseño se suele iniciar la elección preliminar de dimensiones, seguido del correcto análisis de los chequeos pertinentes para dicha configuración. Si la interpretación inicial no cumple con los requisitos, se debe redimensionar. Este ajuste tiende a ser un proceso iterativo, hasta lograr que los análisis cumplan con la resistencia deseada (Torres Belandria, 2008).

Según ACI (2014) el predimensionamiento de un muro varía según su altura, las dimensiones de los elementos como la base, espesores de pantalla y la zapata están relacionados con la altura, a excepción de la posición de la pantalla que está en función de la Base.

ACI (2014) propone rangos para dimensiones preliminares como se observa en la **Figura 12**. Para la base se tiene un rango del 40 al 70% de su altura, mientras que la posición de la pantalla sugiere desde el 25 al 33% de la base. Para muros de poca altura el espesor de la pantalla suele ser uniforme, mientras que en muros de mayor magnitud el espesor de la pantalla varía gradualmente, siendo mayor en la base de la pantalla con un rango del 7 al 12% de su altura y finaliza con un espesor mínimo de 20 a 25 cm. Por último, el espesor de la base se puede estimar en un rango del 7 al 12% de su altura.

Figura 12

Predimensionamiento de muro de contención según ACI (2014).

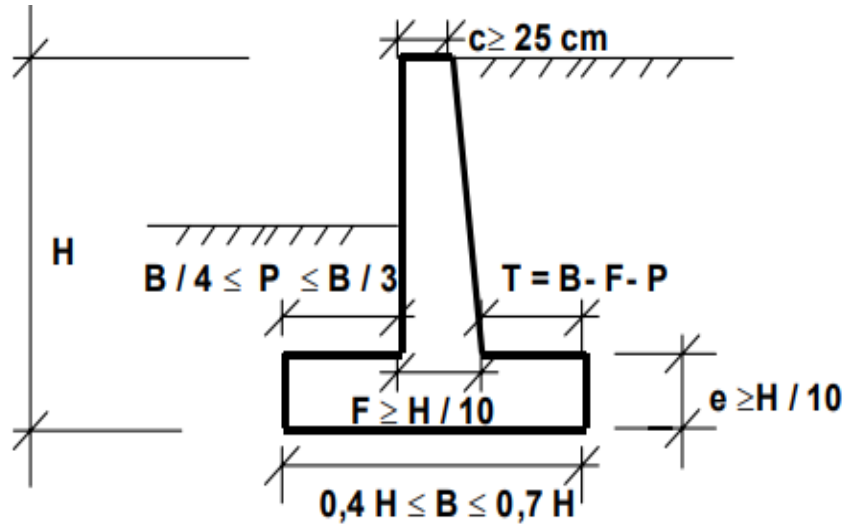


Nota. Se presentan los rangos que se puede adoptar para los elementos del muro y los cuales están relacionados con la altura total. Adaptado de *The Reinforced Concrete Design Handbook A Companion to ACI 318-14* (Chapter 12 – Retaining Walls, p. 11), por American Concrete Institute [ACI], (2014).

Por otro lado, Torres Blandria (2008) también propone rangos para dimensiones preliminares de un muro de contención como se observa en la **Figura 13**, los rangos de la base y posición de la pantalla se mantiene igual que el ACI (2014), mientras que los espesores de la pantalla y zapata sugiere que sean mayor o igual al 10% de su altura.

Figura 13

Predimensionamiento de muros de contención según Beldria (2008)



Nota. En el gráfico se puede observar los posibles rangos que se puede adoptar para los elementos del muro y los cuales están relacionados con la altura total. Adaptado de *Análisis y diseño de muros de contención de concreto armado* (p. 37), por Universidad de los Andes, (2008).

2.5. Diseño del Muro

Una vez analizado los chequeos de estabilidad y comprobar que estos se cumplan, se debe realizar las verificaciones de los esfuerzos de corte y flexión en las secciones del muro para la pantalla y la zapata. Estos cálculos sirven para asegurar que estos esfuerzos no excedan los valores máximos.

Los elementos estructurales se diseñan de manera que en todas sus secciones se cumpla que la resistencia calculada sea mayor o igual a la necesaria, considerando las combinaciones y cargas mayoradas según la norma. En ciertas ocasiones, los muros pueden experimentar fallas en secciones individuales, tales como la pantalla y la base del muro, por lo tanto, es necesario realizar

un diseño que considere los espesores y refuerzos requeridos para contrarrestar los momentos y cortantes (Torres Belandria, 2008).

2.5.1. Revisión a Flexión.

Se satisface el diseño a flexión al cumplir con la ecuación (21), la revisión se debe hacer para la pantalla, punta y talón (ACI, 2014). Se debe considerar un factor de resistencia de 0.90 para el momento resistente (AASHTO, 2017).

$$\phi M_n \geq M_u \quad (21)$$

Donde:

M_u = Momento último.

ϕM_n = Momento nominal resistente

ϕ = Factor de reducción (0.90)

De la ecuación anterior, se iguala el momento último para obtener el del diseño requerido y proponer la cantidad de acero, sin embargo, el AASHTO (2017) refiere que debe haber un refuerzo mínimo, en el cual la cantidad de acero deberá ser suficiente para resistir el menor valor entre el momento de agrietamiento y 1.33 veces del momento requerido, como se observa en la ecuación (22) y (23) respectivamente.

$$M_{cr} = 1.2 * f_r * S \quad (22)$$

$$1.33 M_u \quad (23)$$

Donde:

M_{cr} = Momento de agrietamiento.

f_r = Módulo de ruptura del concreto.

S = Módulo de sección.

El módulo de ruptura del concreto y módulo de sección se calcula en la ecuación (24) y (25), respectivamente.

$$f_r = 2\sqrt{f'_c} \quad (24)$$

$$S = \frac{b * h^2}{6} \quad (25)$$

2.5.2. Acero por Temperatura.

Según Rodríguez (2022) el acero de refuerzo para temperatura se dispondrá en casos donde no haya presencia de acero principal en la dirección perpendicular a la flexión. Esta disposición se realizará tanto en la parte superior (talón) como en la inferior (punta) del cimiento. Además, se ubicará en la pantalla donde no esté en contacto directo con el relleno. El acero por temperatura se calcula en la ecuación (26).

$$A_{s_{temp}} = \frac{0.18bh}{2(b+h)} \quad (26)$$

El acero por temperatura deberá estar entre la siguiente consideración:

$$2.33 \text{ cm}^2 \leq A_{s_{temp}} \leq 12.70 \text{ en cm}^2$$

2.5.3. Revisión a Corte.

Generalmente, los esfuerzos a cortante no gobiernan en el diseño de los muros, pero se debe revisar que el espesor del elemento es el adecuado y verificar que no se necesite refuerzo transversal (Rodríguez Serquén, 2022).

Según AASHTO (2017), la revisión a cortante se cumple al satisfacer la ecuación (27). La revisión al corte se debe basar en donde Vu la fuerza mayorada a corte en la sección considerada y Vn es la resistencia nominal a corte, como se muestra en la ecuación (28). Vc representa la resistencia a corte proporcionada por el concreto, mientras que Vs es por el acero de refuerzo.

El esfuerzo a corte para elementos de hormigón sujetos a cortante y flexión se calcula con la ecuación (29). En condiciones de muros de contención, se acostumbra a no colocar el acero de refuerzo, por lo tanto, la resistencia Vs es igual a 0.

$$\phi Vn \geq Vu \quad (27)$$

$$Vn = Vc + Vs \quad (28)$$

$$Vc = 0.53 * \sqrt{f'c} * bw * d \quad (29)$$

Donde:

Vu = Cortante último

ϕVn = Resistencia a corte nominal

ϕ = Factor de reducción (0.90)

Vc = Resistencia a corte por hormigón

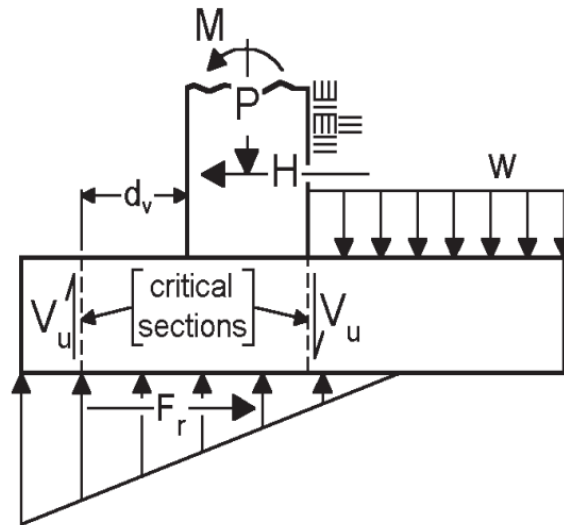
Vs = Resistencia a corte por el acero

El chequeo se debe analizar para las secciones críticas de la pantalla, punta y talón. En el caso de la pantalla la revisión se realiza en su base, se obtiene el cortante último para las diferentes combinaciones de cargas y se comprueba con el mayor. Las cargas que actúan en la pantalla corresponden al empuje del suelo, los efectos sísmicos y sobrecarga (Rodríguez Serquén, 2022).

Las cargas generadas en la base de los muros de contención en voladizo son como en la **Figura 14**, además se aprecia las secciones críticas de cortante para la punta y el talón, es decir que se debe revisar en estos puntos.

Figura 14

Secciones críticas de cortante en la base del muro



Nota. Se identifican las secciones críticas por cortante y sus respectivas concentraciones de fuerzas y reacciones. Adaptado de *Concrete Structures* (Section 5), por AASHTO, 2017.

Según AASHTO (2017), la revisión de cortante del talón se verifica en la cara de la pantalla. Las cargas actuantes sobre el talón corresponden al peso del relleno retenido y parte de los esfuerzos producidos por el suelo. Mientras que la revisión en la punta se revisa a una distancia efectiva de cortante dv de la cara de la pantalla, y equivale a la separación entre la resultante de las fuerzas de flexión de tensión y compresión; este no debe ser menor que el mayor valor obtenido de **0.9d** o **0.72h**.

2.5.4. Diseño de la Pantalla

Según Torres Belandria (2008), la superficie vertical del muro actúa como un voladizo sometido a la presión lateral del suelo e interacción del sismo. Los momentos flectores resultantes inducen una tracción en el lado interno que está en contacto con el suelo, que deberá ser reforzado por el acero. Además, se toma en cuenta el refuerzo por efectos de temperatura, este se coloca cuando no existe ningún tipo de refuerzo en la dirección perpendicular al acero principal y en la superficie opuesta.

Además, se debe considerar el acero por temperatura que según Rodríguez (2022) se ubica paralelo a la cara opuesta del relleno y en dirección perpendicular en ambas caras de la pantalla debido a que no considera ningún tipo de acero en esta dirección.

2.5.5. Diseño de la Base

Según Torres Belandria (2008) la punta del muro se comporta como un voladizo sometido a una fuerza vertical hacia arriba proveniente de la reacción del suelo y el peso propio que actúa hacia abajo. La reacción del suelo predomina, y los momentos flectores resultantes generan fuerzas de tracción en la zona inferior del muro.

Para el talón, las fuerzas que predominan es el peso propio del relleno y del muro, lo cual indica que exista tracción en la parte superior del muro debido a que se comporta como un voladizo. Según Rodríguez (2022) el acero por temperatura en la base se coloca en sentido perpendicular al acero de flexión, tanto en la punta como en el talón.

2.6. Costo

El presupuesto estimado corresponde al costo de los rubros a utilizar, este análisis permitirá determinar con mayor precisión la cantidad de materiales que se usaran para la ejecución del proyecto. Establece un estimado de los gastos de la obra, los costos que definen el muro son el material (concreto, acero y relleno). Sin embargo, se deben considerar costos para los procesos constructivos, tales como la maquinaria, mano de obra, compactación, desalojo de escombros, encofrado.

La elección del tipo de hormigón dependerá de las especificaciones y características requeridas por la obra. El precio de este rubro dependerá por la resistencia deseada. La disposición y colocación para las barras de acero serán conforme a las indicaciones proporcionadas en los diseños estructurales. El relleno se ejecutará según las alturas, cotas y límites prescritos en los planos. La tarifa correspondiente a este rubro debe considerar la labor de compactación, mano de obra, y herramientas. La medición se realiza por metro cúbico.

CAPITULO III: Metodología

3.1. Problemática del Estudio

El presente trabajo analiza las relaciones geométricas en muros en voladizo sin contrafuerte para diferentes alturas y tipos de suelo (sección **3.1.3**), con la finalidad de establecer rangos óptimos y comprobar el impacto de estos en términos de la eficiencia. Para abordar esta problemática, se ha desarrollado un código Python, detallado en el apartado de **ANEXOS C**. Dicho código se programó para facilitar la evaluación, verificación y diseño de muros de contención.

En los casos estudiados se ha considerado que algunos parámetros de diseño se mantengan constantes con el objetivo facilitar la interpretación de los resultados y enfocarse únicamente en los parámetros más relevantes de esta investigación sección **3.1.2**.

Los análisis realizados en el muro de contención consideran una franja de un metro lineal de longitud de muro.

Las cargas actuantes consideradas en el análisis se indican a continuación y su cálculo se explican en la sección **2.2**.

- Peso del muro (fuerza vertical)
- Peso del relleno (fuerza vertical)
- Empuje lateral activo del suelo (fuerza horizontal)
- Empuje lateral pasivo del suelo (fuerza horizontal)
- Empuje lateral por acción sísmica (fuerza horizontal)

Los estados límites considerados en los análisis de esta investigación son: Resistencia y Evento Extremo. Los factores de combinación de carga y sus límites de aceptación se explican en

el apartado **2.3**, el Estado de Servicio no fue abordado en este estudio debido a que no se van a considerar asentamientos y deformaciones.

Para cada altura del muro se evaluaron diferentes combinaciones geométricas y para cada una de ellas se verificó que se cumplan con los requisitos establecidos para cada estado límite sección (**2.3**). Aquellos casos que no cumplan con los requisitos de los estados límites serán descartados del estudio.

Para los casos que, si cumplen con los requisitos de los estados límites, se diseñaron a flexión y cortante los elementos de pantalla y zapata (sección **3.1.4**). Se calcularon cantidades de obra y en base a costos unitarios (sección **3.1.5**) se calculó el costo de dicha solución geométrica. Aquel caso que resulte en el costo menor será considerado el más óptimo para aquella altura de muro.

Los resultados obtenidos permitirán estudiar la incidencia o cambios en las relaciones geométricas a medida que incrementa la altura y variación entre los suelos, proponiendo rangos que podrán ser comparados con los propuestos por otros autores según el apartado **2.4**.

3.1.1. Variables de Análisis

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar las variables geométricas del muro, dentro de ciertos rangos establecidos, con la finalidad de encontrar un diseño eficiente.

Las variables de análisis son: la base del muro (**B**), la posición de la pantalla (**x**), el espesor de la pantalla (**tw**) y zapata (**h1**). Estas variables se relacionan de manera directa e indirectamente con la altura (**H**). Cada variable ha sido estudiada bajo un rango específico como se muestra en **Tabla 2**. El código elaborado en Python evaluará de manera automatizada las diversas combinaciones de valores dentro de los rangos e intervalos establecidos.

Tabla 2

Rangos establecidos de las variables escogidas

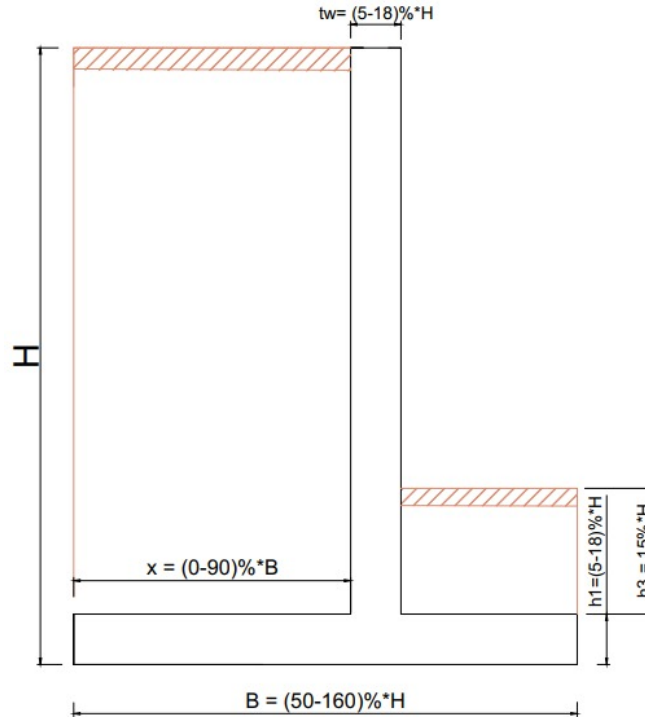
<u>Variable</u>	<u>Nomenclatura</u>	<u>Rango</u>	<u>Intervalos</u>
<i>Altura</i>	H	(4 – 12)m	1
<i>Base</i>	B	(50% – 166%) * H	5%
<i>Posición de pantalla</i>	x	(0% – 91%) * B	5%
<i>Espesor de pantalla</i>	Tw	(5% – 18%) * H	1%
<i>Espesor de zapata</i>	h1	(5% – 18%) * H	1%

Nota. La tabla presenta las variables con sus respectivas nomenclaturas y rangos asociados para los diferentes suelos. La variable “x” representa la dimensión del talón. El rango B se analizará valores de hasta 166% de la altura del muro (H), debido a los resultados obtenidos (sección 4.1.2).

En la **Figura 15** se observan las variables de análisis correspondiente a las dimensiones del muro que irán variando según el rango propuesto de acuerdo a la **Tabla 2**. La posición de la pantalla (x) se considera desde el extremo izquierdo del talón, elemento que soporta el relleno activo, hasta la cara de la pantalla. Además, el relleno pasivo será el 15% de la altura total medido desde la parte superior de la zapata.

Figura 15

Representación de las variables de análisis



Nota. La gráfica representa las variables y su ubicación para los análisis del muro.

3.1.2. Datos Asumidos

Algunos parámetros de diseño se han considerado constantes para independizar los resultados de estos valores. Dentro de estos parámetros se encuentran características, geometría de los materiales (hormigón, relleno), y la zona sísmica (**Tabla 3**).

Los parámetros constantes se indican a continuación:

- Variación de espesor de la pantalla Constante
- Inclinación del relleno activo 0° con la horizontal

- Altura de relleno pasivo 15% H sobre zapata
- Nivel freático No considerado
- Sobrecarga viva sobre el relleno (LS)..... No considerado

La zona sísmica escogida para este estudio es la zona V especificada en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15), la cual es la zona de mayor actividad sísmica.

Tabla 3

Datos correspondientes a los tipos de materiales, condiciones geotécnicas y sísmicas

<u>Materiales</u>	
<i>Hormigón Estructural</i>	$f'c = 350 \frac{kg}{cm^2}$
	$\gamma_c = 2.4 \frac{ton}{m^3}$
<i>Acero estructural</i>	$f_y = 4200 \frac{kg}{cm^2}$
	$\gamma_{as} = 7.85 \frac{ton}{m^3}$
<u>Suelo</u>	
<i>Relleno</i>	$\gamma_s = 1.7 \frac{ton}{m^3}$
<i>Ángulo de fricción interna</i>	$\phi_f = 30^\circ$
<i>Ángulo de inclinación de pantalla del muro con respecto a la vertical.</i>	$\beta = 0^\circ$
<i>Ángulo de inclinación superficie de relleno</i>	$i = 0^\circ$
<i>Ángulo de fricción entre el muro y suelo</i>	$\delta = 0^\circ$
<u>Condiciones sísmicas</u>	
<i>Aceleración máxima en roca</i>	$Z = 0.5$

3.1.3. Tipos de Suelos

Además de las variables geométricas del muro, se consideraron 3 tipos de suelo para el estudio (Suelo tipo B, C y E) en base a las especificaciones de la NEC-15. El suelo tipo B se clasifica como un suelo rocoso, mientras que los tipos D y E son suelos blandos. En base al tipo de suelo en estudio, los análisis consideran 3 variaciones: la demanda sísmica, los límites de excentricidad y la capacidad portante del suelo.

En los análisis, la demanda sísmica está controlada por la zona sísmica y el factor de amplificación del suelo con respecto a la zona de análisis para un periodo corto (F_a). La zona sísmica considerada fue la zona V especificada en la NEC-15 como se mencionó anteriormente. El factor (F_a) se obtiene en base a las tablas especificadas en la NEC-15 las cuales se muestran en la **Figura 6**.

Los límites de excentricidad se especifican en la sección **2.3.4**. Independiente del tipo de suelo, la excentricidad límite para evento extremo es igual a $B/3$. En el caso del estado límite de Resistencia, el límite de excentricidad para suelos blandos es $B/3$ y para suelos duros $0,45B$.

La capacidad portante del suelo puede ser relacionada con el tipo de suelo en estudio. Para este trabajo, siguiendo las recomendaciones de especialistas en geotecnia, se consideró una capacidad portante para suelos duros de $150 \text{ Ton}/m^2$ para el límite de resistencia y $250 \text{ Ton}/m^2$ para el límite de evento extremo y para suelos blandos de $5 \text{ Ton}/m^2$ y $8 \text{ Ton}/m^2$, respectivamente.

La **Tabla 4** resume los parámetros de diseño considerados para cada tipo de suelo.

Tabla 4

Límites de Excentricidad y Capacidad Portante para los tipos de suelos

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Fa</i>	<i>Límites de Excentricidad (m)</i>		<i>Capacidad Portante (T/m²)</i>		
		<i>Resistencia</i>	<i>Eve. Extremo</i>	<i>Resistencia</i>	<i>Eve. Extremo</i>	
B	Rocosa	1	0.45B	B/3	150	250
D	Blando	1.12		B/3	5	8
E		0.85		B/3	5	8

3.1.4. Diseño del Muro

Cada uno de los muros estudiados fue diseñado en base al AASHTO LRFD 2017. El diseño consistió en la revisión del momento flector y fuerza cortante, tanto en la pantalla como en la zapata del muro, para cargas últimas (ver sección 2.5).

La resistencia al corte de la pantalla fue evaluada en la parte inferior de la pantalla por encima de la zapata. La resistencia al corte del talón fue evaluada en el extremo de la pantalla. Y la punta fue evaluada a una distancia efectiva de cortante de la cara pantalla (d_v). Para los 3 casos se despreció el aporte del acero de refuerzo y se calculó la resistencia al corte únicamente tomando en cuenta el aporte del hormigón.

El acero de refuerzo clasificado en 8 tipos:

- a) Acero longitudinal superior en zapata
- b) Acero longitudinal inferior en zapata
- c) Acero transversal superior en zapata
- d) Acero transversal inferior en zapata

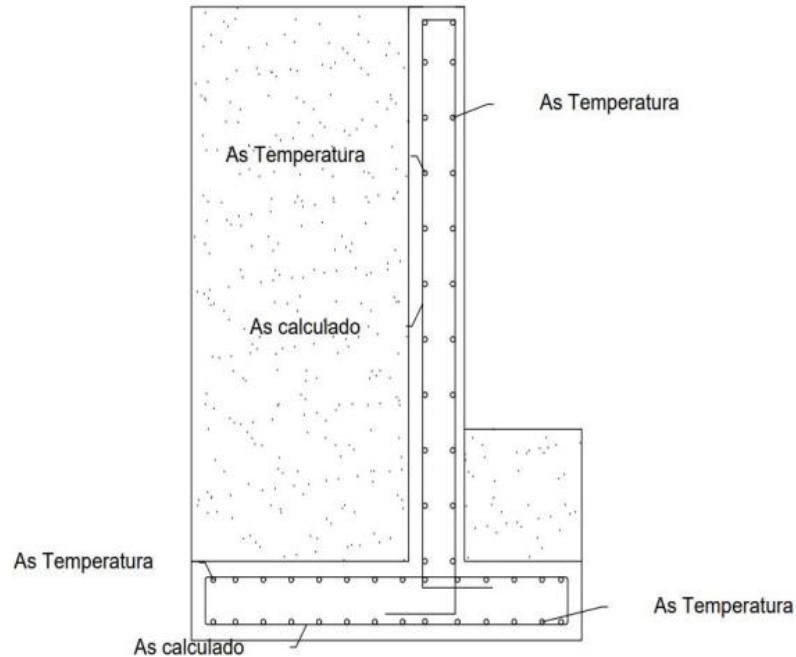
- e) Acero longitudinal del lado del relleno en pantalla
- f) Acero longitudinal del lado de la punta en pantalla
- g) Acero transversal del lado del relleno en pantalla
- h) Acero transversal del lado de la punta en pantalla.

Los aceros longitudinales corresponden a aquellos que se desarrollan en la sección transversal del muro y los aceros transversales corresponden a aquellos perpendiculares a la sección transversal del muro (**Figura 16**).

El acero longitudinal del lado del relleno en la pantalla (e) y los aceros longitudinales de la zapata (a y b) fueron diseñados a flexión. El acero longitudinal del lado de la punta en la pantalla (f) y todos los aceros transversales (c, d, g, y h) fueron diseñados por temperatura. Para todos los casos se consideró que el acero de refuerzo es constante a lo largo de toda la altura de la pantalla o todo el ancho de la zapata según corresponda.

Figura 16

Distribución del acero del muro contención



Nota. Distribución del acero en pantalla y zapata del muro de contención.

3.1.5. Costos Referenciales

Los costos de cada caso estudiado se calcularon en base a las cantidades de obra y a sus correspondientes precios unitarios.

Los rubros considerados fueron: volumen de hormigón, kilos de acero de refuerzo, volumen de acero y relleno. Otros rubros como encofrado, mechinales, material del filtro, material de mejoramiento de suelo, etc, no fueron considerados.

El volumen de hormigón fue calculado en base a las dimensiones propuestas para cada caso. Los kilos de acero de refuerzo fueron obtenidos en base al diseño de la zapata y la pantalla del muro. El volumen de relleno fue calculado como el relleno sobre el talón de la zapata, más el relleno sobre la punta que considera el 15% de la altura de análisis. Para los tres casos se analiza para un metro de muro.

Los precios unitarios de los rubros considerados en los estudios fueron proporcionados por el Ing. Andrés Solorzano en base a los valores obtenidos en una obra realizada pocos meses atrás.

Los valores de los precios unitarios se detallan a continuación:

- Hormigón ($f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$).....\$104 / m³
- Acero de refuerzo trabajado ($fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$).....\$1,75 / kg
- Material de relleno.....\$7,00/m³

CAPITULO IV: Resultados

4.1. Proceso de Análisis

Una vez establecidas las variables y datos asumidos, se procede a evaluar todas las combinaciones posibles de dimensiones entre el rango propuesto para alturas de 4 hasta 12 metros en suelos tipo B, D y E. Tras realizar los cálculos respectivos mediante el código desarrollado, se obtuvieron tablas y gráficas de dimensiones con sus respectivos costos. Se abordaron procedimientos específicos como “Revisión de la Estabilidad”, “Diseño del Muro” y “Costo”.

Además, se generaron relaciones geométricas tales como: Base vs Altura (B/H), Espesor de Pantalla vs Altura (t_w/H), espesor de Zapata vs Altura (h_1/H) y Posición de Pantalla vs Base (x/B). Se graficaron los resultados, permitiendo compararlas observando su tendencia y comportamiento. Por último, se realizó una gráfica Costo vs Altura.

4.1.1. Dimensiones Óptimas

En la **Tabla 5**, **Tabla 6**, **Tabla 7** se presentan las dimensiones óptimas para muros de contención para suelos tipo B, D y E, respectivamente. Además, se aprecia el costo por metro lineal para la elaboración del muro.

Tabla 5

Dimensiones óptimas respecto a la altura y tipo de suelo (B)

Tipo de Suelo B					
<i>Altura</i>	<i>Base</i>	<i>x</i>	<i>tw</i>	<i>h1</i>	<i>Costo</i>
4	2.60	1.30	0.28	0.28	383.29
5	3.25	1.46	0.35	0.35	643.53
6	3.90	1.75	0.42	0.48	990.46
7	4.55	2.05	0.56	0.56	1428.73
8	5.20	2.60	0.64	0.72	1971.26
9	5.85	2.63	0.81	0.81	2612.39
10	6.00	2.40	1.00	1.10	3358.13
11	6.60	2.97	1.32	1.10	4177.90
12	7.20	3.24	1.20	1.32	5109.89

Nota. La tabla indica los valores óptimos para el diseño del muro en relación con su altura, cumpliendo los requisitos de estabilidad y económicamente viables.

Tabla 6

Dimensiones óptimas respecto a la altura y tipo de suelo (D)

Tipo de Suelo D					
<i>Altura</i>	<i>Base</i>	<i>x</i>	<i>tw</i>	<i>h1</i>	<i>Costo</i>
4	3.20	0.64	0.24	0.40	470.72
5	4.75	0.47	0.30	0.50	863.08
6	7.20	0.00	0.54	0.54	1511.00
7	10.15	0.00	0.49	0.56	2466.37

Nota. La tabla indica los valores óptimos para el diseño del muro en relación con su altura para un suelo tipo D.

Tabla 7

Dimensiones óptimas respecto a la altura y tipo de suelo (E)

Tipo de Suelo E					
<i>Altura</i>	<i>Base</i>	<i>x</i>	<i>tw</i>	<i>h1</i>	<i>Costo</i>
4	3.00	0.75	0.24	0.28	405.53
5	4.25	0.42	0.40	0.35	735.30
6	6.30	0.00	0.42	0.48	1260.75
7	9.10	0.00	0.49	0.49	2104.09

Nota. La tabla indica los valores óptimos para el diseño del muro en relación con su altura para un suelo tipo E.

4.1.2. Relaciones de los Elementos del Muro

En la **Tabla 8**, **Tabla 9**, **Tabla 10**, **Tabla 11** se presentan las relaciones geométricas obtenidas en función de los tipos de suelos.

Tabla 8

Relación Base vs Altura

Relación (B/H)			
<i>H</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
4	0.65	0.80	0.75
5	0.65	0.95	0.85
6	0.65	1.20	1.05
7	0.65	1.45	1.30
8	0.65	-	-
9	0.65	-	-
10	0.60	-	-
11	0.60	-	-
12	0.60	-	-

Tabla 9

Relación Posición de Pantalla vs Base

Relación (x/B)			
<i>H</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
4	0.50	0.20	0.25
5	0.45	0.10	0.10
6	0.45	0.00	0.00
7	0.45	0.00	0.00
8	0.50	-	-
9	0.45	-	-
10	0.40	-	-
11	0.45	-	-
12	0.45	-	-

Tabla 10

Relación Espesor de Pantalla vs Altura

Relación (tw/H)			
<i>H</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
4	0.07	0.06	0.06
5	0.07	0.06	0.08
6	0.07	0.09	0.07
7	0.08	0.07	0.07
8	0.08	-	-
9	0.09	-	-
10	0.10	-	-
11	0.12	-	-
12	0.10	-	-

Tabla 11

Relación Espesor de Zapata vs Altura

Relación (h1/H)			
<i>H</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
4	0.07	0.10	0.07
5	0.07	0.10	0.07
6	0.08	0.09	0.08
7	0.08	0.08	0.07
8	0.09	-	-
9	0.09	-	-
10	0.11	-	-
11	0.10	-	-
12	0.11	-	-

CAPITULO V: Interpretación de Resultados

5.1. Análisis Comparativo

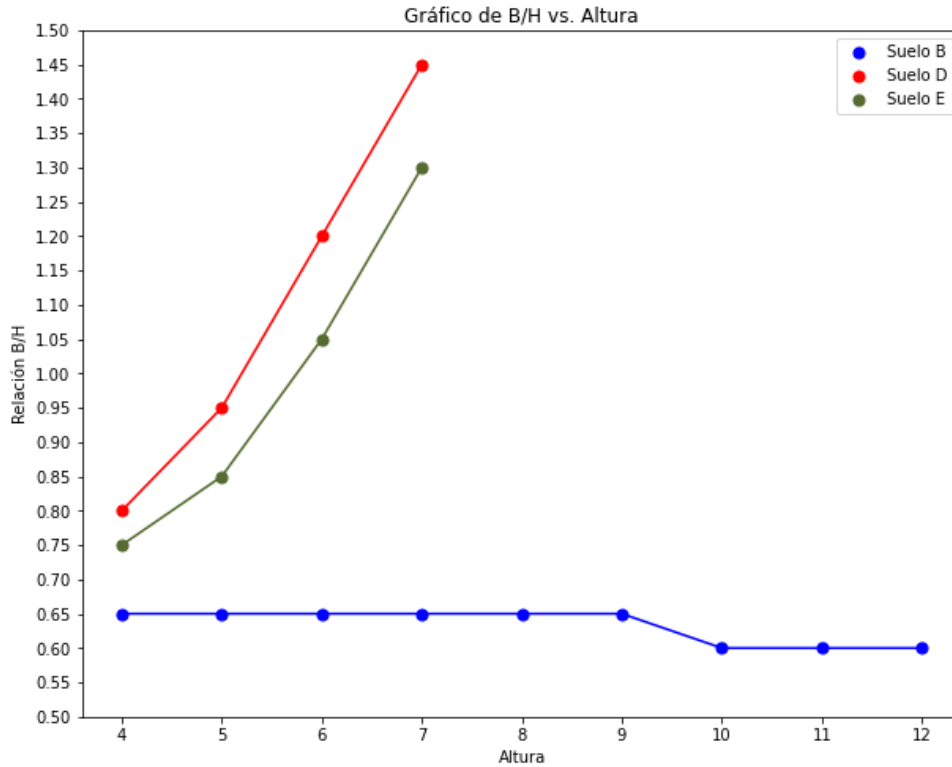
De acuerdo con los resultados de las secciones **4.1.1** y **4.1.2**, se observa que para suelos de características rocosas (suelo B) se hallaron diseños satisfactorios para el rango establecido, mientras que en suelos blandos cumplen hasta alturas de 7 metros. Interpretando que se necesitará un incremento en los rangos o variación en sus limitaciones, propiedades del elementos o parámetros geotécnicos.

5.1.1. Relación B/H

Como se aprecia en la **Figura 17**, para suelo tipo B la relación Base vs Altura se encuentra en un rango del 60 al 65%. En suelos tipo D, la relación comienza desde el 75% y finaliza en 145%. Mientras que en los tipos E, empieza del 80% y concluye en 130%. Esto indica que se requiere mayor magnitud de base para suelos blandos. Esta variación de relación entre los suelos rocosos y blando se debe a la capacidad portante del suelo y condiciones sísmica. Y entre tipo D y E se debe principalmente a la condición sísmica debido a que sus capacidades portantes son iguales.

Figura 17

Relación B/H de los diferentes tipos de suelos



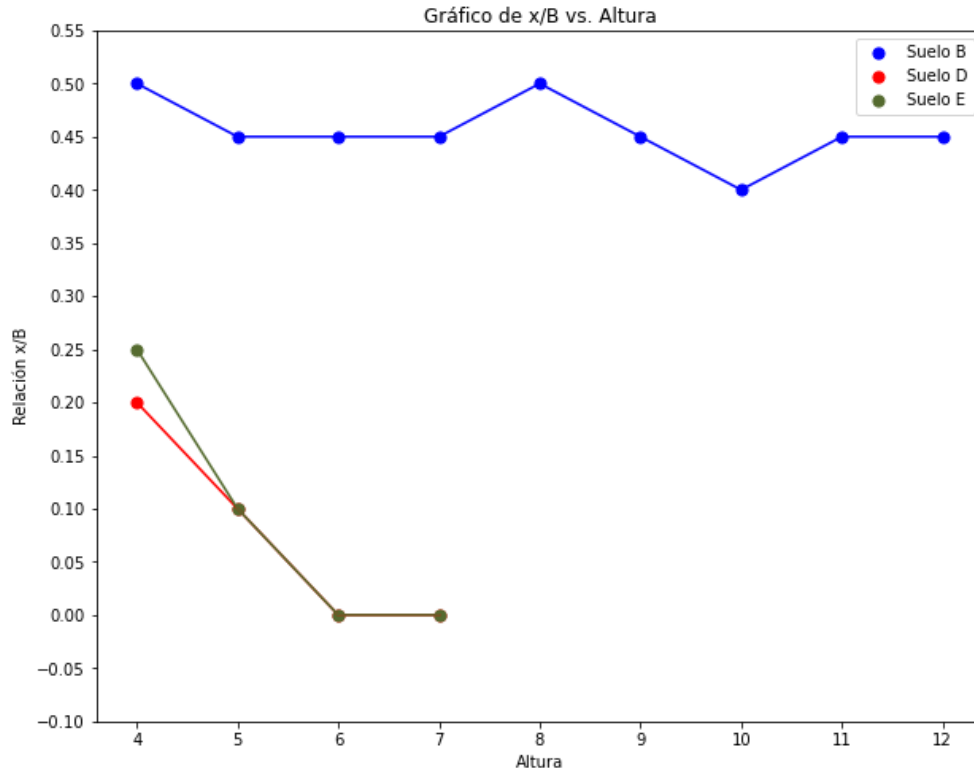
Nota. La gráfica nos muestra los rangos necesarios de la base de un muro de contención respecto a su altura.

5.1.2. Relación X/B

En la **Figura 18** se observa la relación x/B en suelos rocosos, posee un intervalo del 40 al 50%. Por otro lado, los suelos tipo D y E empiezan con una relación del 20 y 25% respectivamente y ambos disminuyen hasta llegar al 0%. Esto induce que se necesita un talón de mayor magnitud para el tipo B. En cambio, para los otros tipos de suelo existe la posibilidad de que no haya talón, lo cual sería un muro en “L”.

Figura 18

Relación x/B de los diferentes tipos de suelos



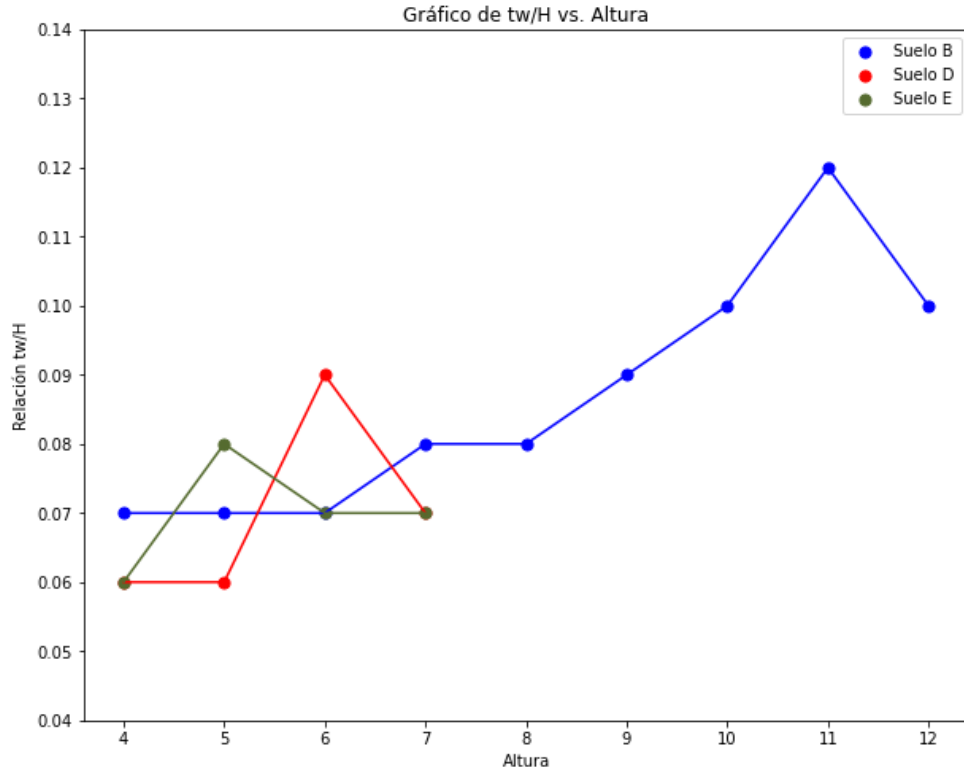
Nota. La gráfica nos plantea la ubicación ideal para la pantalla del muro, respecto a su altura y base obtenida.

5.1.3. Relación tw/H

La relación tw/H en los suelos tipo B presenta un rango aproximado del 7 al 12%, como se evidencia en la **Figura 19**. Sin embargo, los suelos tipo D y E varía entre 6-9% y 6-8%, correspondientemente y finalizan ambos en 7% en altura de 7 metros.

Figura 19

Relación t_w/H de los diferentes tipos de suelos



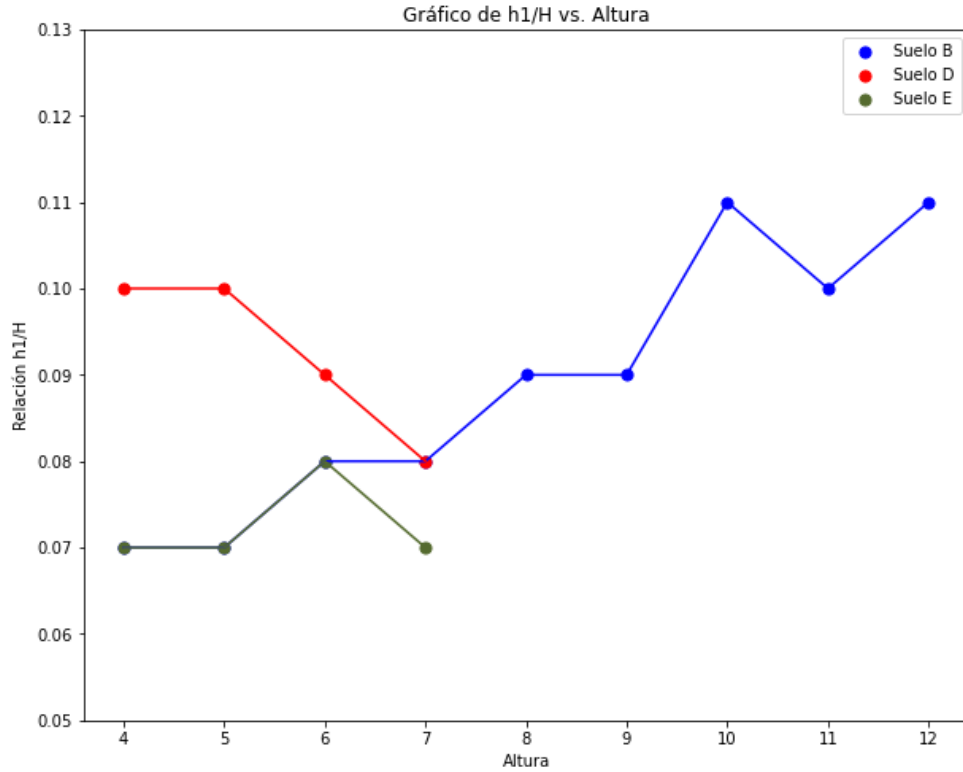
Nota. La gráfica representa la relación necesaria para obtener el espesor adecuado en la pantalla.

5.1.4. Relación h_1/H

En la **Figura 20** la relación h_1/H en suelos tipo B, inicia en 7% y asciende hasta 11%. Los suelos blandos se diferencian debido a que en alturas de 4 metros se requiere mayor espesor de zapata en tipo D que en E, estos requieren 10 y 7%, concluyendo en altura de 7 metros con 8 y 7%, respectivamente.

Figura 20

Relación h_1/H de los diferentes tipos de suelos



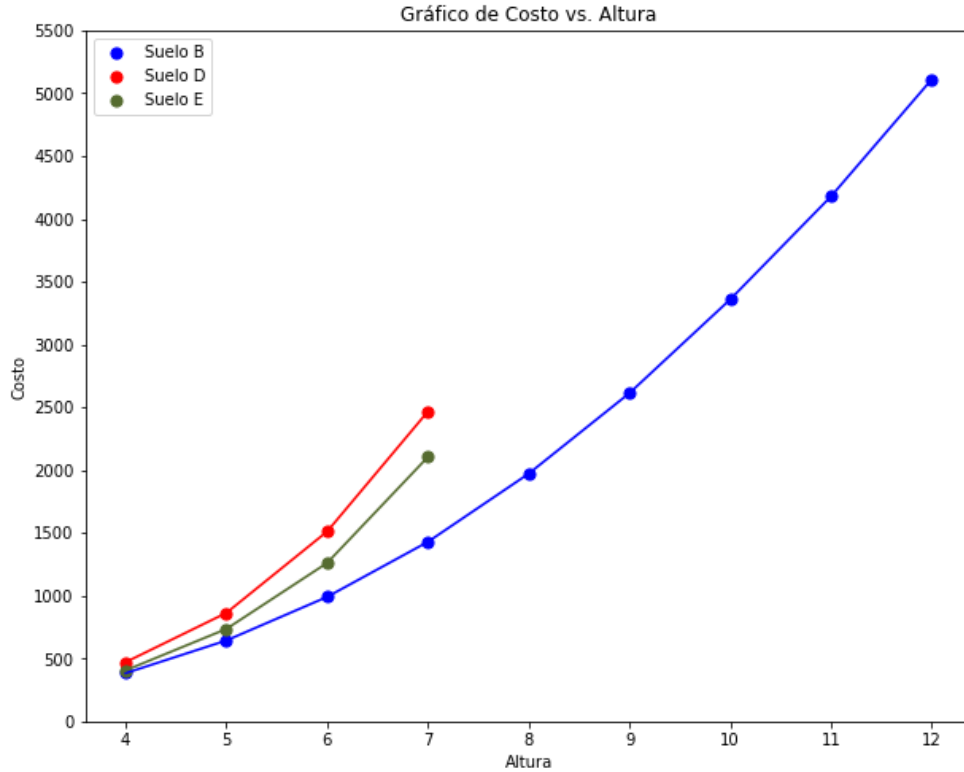
Nota. La gráfica representa la relación necesaria para obtener el espesor adecuado en la zapata.

5.1.5. Costos

La **Figura 21** indica los costos para la elaboración de muros eficientes. Se observa que en altura de 4 metros los costos se aproximan indiferentemente del tipo del suelo, siendo los de menor costo tipo B, seguido de E y D. Esta tendencia se mantiene hasta los 7 metros de alturas. Sin embargo, hay una mayor variación entre sus costos debido a las relaciones obtenidas anteriormente, lo cual demuestra que en suelos blandos se requiere elementos de mayor proporción.

Figura 21

Costo de los muros de contención respecto a su geometría eficiente



Nota. Se presentan costos de muros respecto a la altura y tipo de suelo.

5.2. Análisis del Segundo Caso de Estudio

Dado que los resultados en suelos blandos solo se extienden hasta 7 metros de altura, se propone un nuevo análisis variando la capacidad portante del suelo dentro de los valores recomendados por ingenieros geotécnicos, manteniendo los datos iniciales y limitaciones. El propósito de estos análisis fue evaluar cómo estos cambios afectan la tendencia y determinar si permanece constante o varía significativamente.

Para efectos de análisis se realizó un segundo grupo de capacidades portante del suelo, como se detalla en la **Tabla 12**, el cual se denominará “2do Caso de estudio”. En este se destaca que en suelo tipo B la capacidad se mantiene en comparación con el análisis anterior, el cual se designó "1er Caso de estudio". Esto se debe a la obtención de resultados dentro del rango previsto de alturas. Sin embargo, en suelos blandos la capacidad aumenta.

Las dimensiones y relaciones óptimas de los elementos del muro para el 2do caso de estudio se encuentran en el apartado **ANEXOS A**. Debido al cambio realizado se obtuvieron diseños eficientes para los tres tipos de suelo en el rango propuesto de altura.

Tabla 12

Capacidades portantes para 2do Caso de Estudio

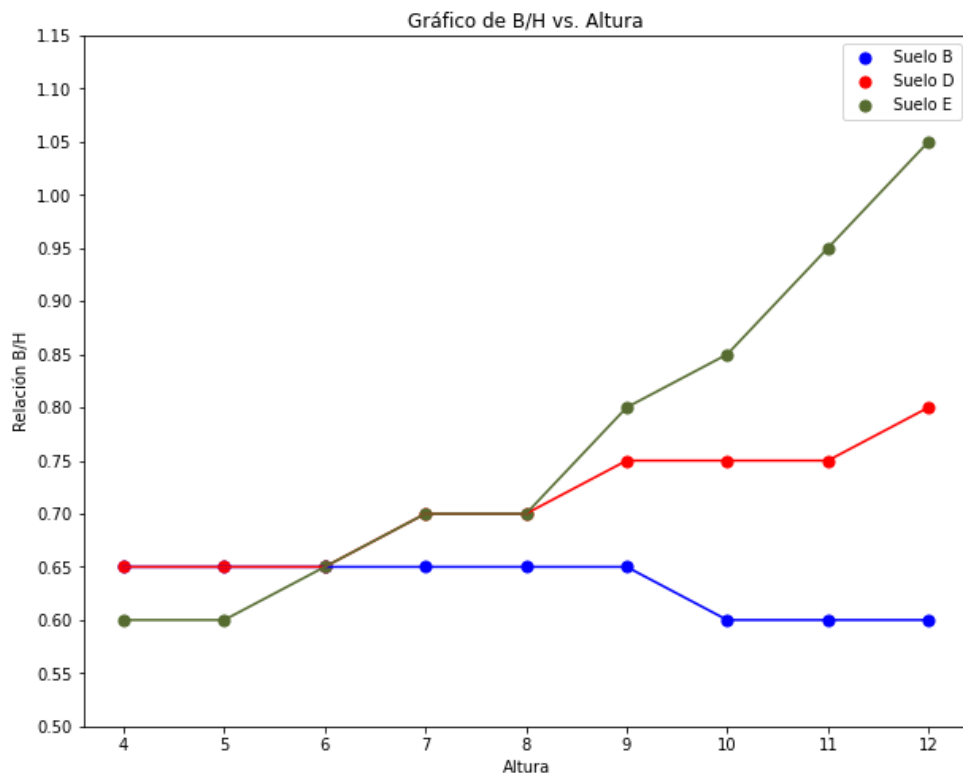
<i>Tipo de suelo</i>		<i>Capacidad portante (T/m²)</i>	
		<i>Resistencia</i>	<i>Eve. Extremo</i>
B	Rocosa	150	250
D	Blando	15	22
E		10	16

5.2.1. Interpretación de Resultados (2do Caso)

Como se aprecia en la **Figura 22**, para suelos tipo B la relación Base vs Altura se mantiene entre el 60-65%. En el caso de suelos tipo D, la relación comienza a partir del 65%, a medida que incrementa la altura, la relación asciende alcanzando el 80%. En cambio, en suelo tipo E la relación empieza en un 60% y finaliza en 105%.

Figura 22

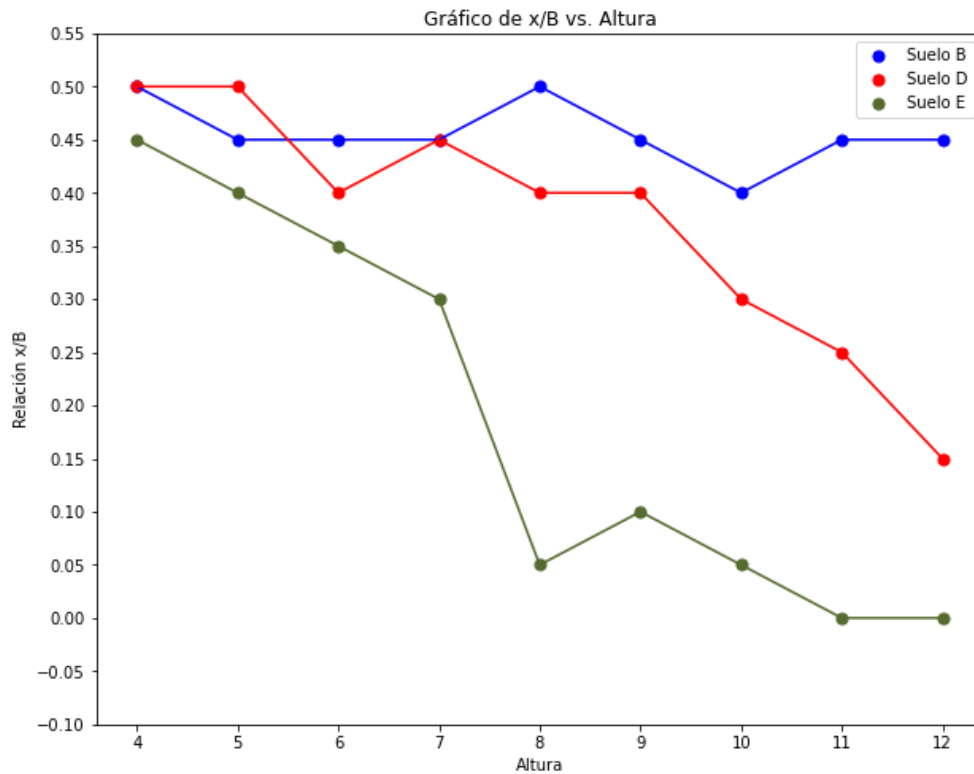
Relación B/H - 2do Caso de Estudio



En la **Figura 23**, la relación x/B en suelo rocoso posee un intervalo del 40 al 50%, sin embargo en suelo tipo D disminuye del 50% al 15% y en tipo E empieza desde el 45% finalizando en 0%.

Figura 23

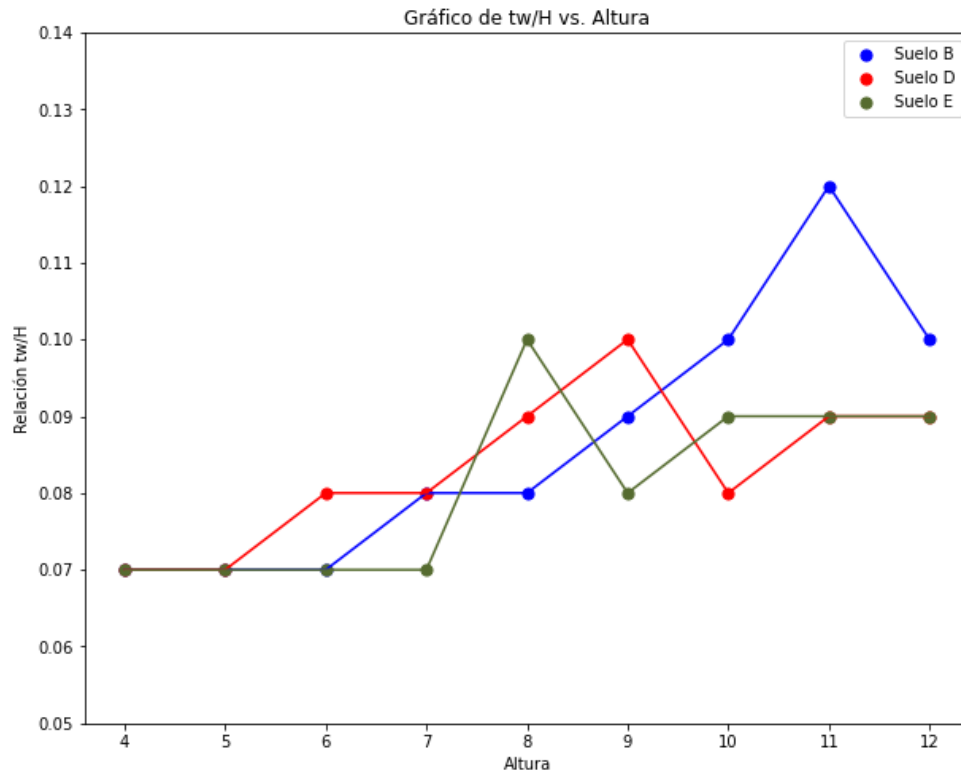
Relación x/B -2do Caso de Estudio



La relación tw/H en los diferentes tipos de suelos empiezan desde 7%, como se evidencia en la **Figura 24**. Esta relación se mantiene en la mayoría de los tipos de suelos, sin embargo, en suelos tipo E es constante hasta altura de 7 metros, alcanzando su pico máximo de relación en 10%. En lo que respecta al suelo tipo D, es evidente que comienza a cambiar a partir de los 5 metros de altura, alcanzando el mismo valor máximo que el suelo tipo E, pero en alturas diferentes.

Figura 24

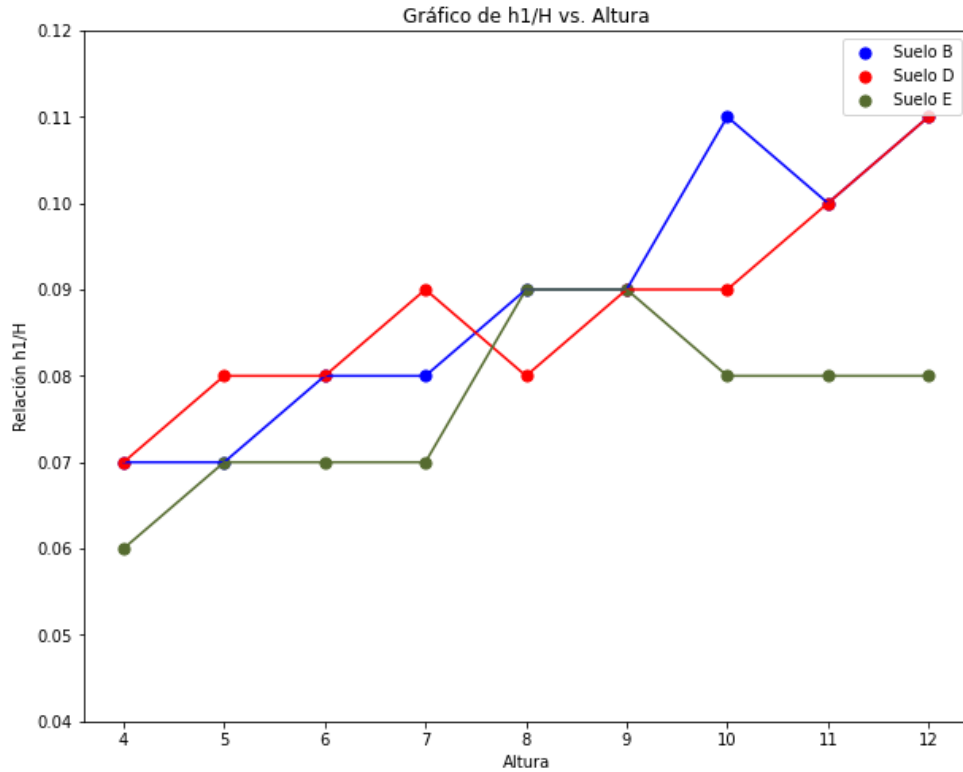
Relación tw/H -2do Caso de Estudio



En la **Figura 25** la relación $h1/H$, en suelos tipo D varía aproximadamente en un rango del 7 al 11%. Sin embargo, en suelos tipo E varía del 6 al 8%, a partir de 9 metros de altura la relación deja de incrementar motivo de que se necesita una mayor relación de B/H .

Figura 25

Relación $h1/H$ -2do Caso de Estudio



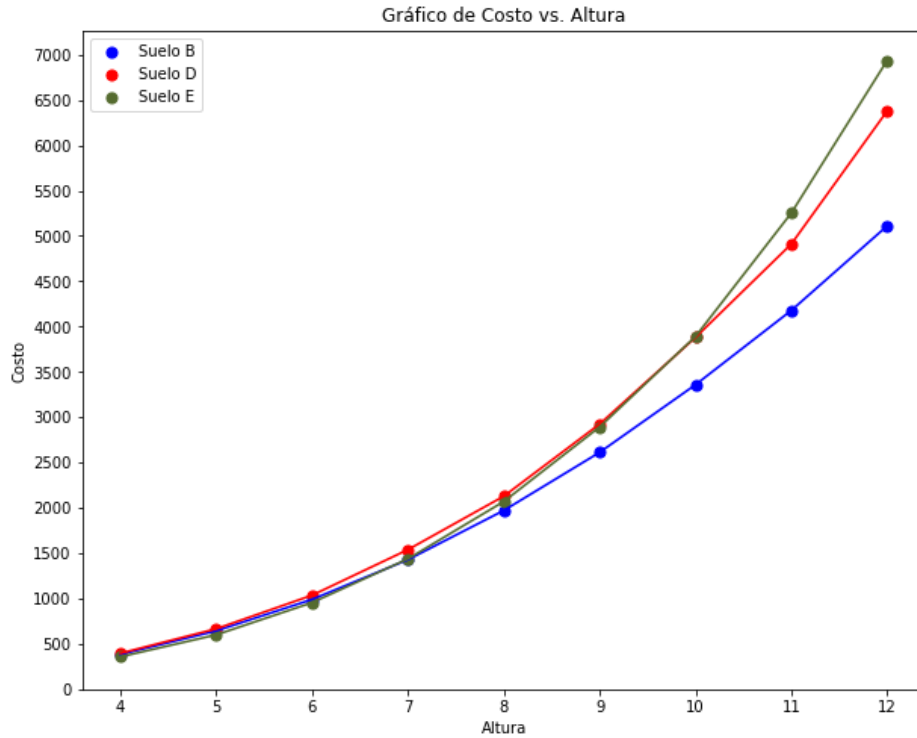
Se puede observar en la **Figura 26** que los costos del muro aumentan de forma exponencial a medida que se incrementa la altura. Además, los muros que se encuentra en suelo tipo B poseen en su mayoría menores costos para las diferentes alturas que los otros tipos de suelo, esto se debe a que la relación de B/H es menor. En suelos blandos se observan que los costos en tipo E son menores que los D hasta los 9 metros. A partir de esta altura, los mayores costos corresponden al E, principalmente esto se da por tener un incremento de la relación B/H .

Los costos de un muro de 4 metros de altura, se asemeja en los tres tipos de suelos. Comparando estos costos para las alturas superiores, se observa que para el doble (8 metros) es

aproximadamente 5 veces mayor. Si se compara para el tripe (12 metros), en suelos tipo B, D y E son aproximadamente 13, 16 y 18 veces mayor, respectivamente.

Figura 26

Costo de los muros de contención respecto a su geometría eficiente – 2do Caso



5.3. Comparación entre 1er y 2do Caso

Los casos de estudios varían únicamente en la capacidad portante para suelos blandos. El primero corresponde a los resultados obtenidos por las condiciones iniciales y el segundo al cambio en las capacidades. Debido a que se mantiene constante en suelo rocoso, se compararon los resultados para blandos.

Una diferencia notable entre ambos casos es que en el primero los resultados se limitan a alturas de hasta 7 metros, mientras que en el segundo se cumplen para todo el rango propuesto.

Esto se atribuye principalmente al aumento en la capacidad del suelo. Es posible que, al analizar alturas mayores, no sea posible obtener un diseño de muro satisfactorio debido a esta restricción, lo que podría requerir otras alternativas de diseño, como el uso de pilotes.

En el primer caso, se requieren relaciones más amplias de B/H y relaciones más reducidas de x/B para cumplir con los requisitos de diseño. En cuanto a la relación tw/H , no se observa una tendencia clara en el primer caso, a diferencia del segundo, donde esta relación aumenta de manera constante a medida que la altura se incrementa.

La diferencia más notable se observa en la relación $h1/H$ en suelos tipo D, donde esta disminuye en el primer caso, en contraste con el segundo, donde aumenta a medida que varía la altura. Esta variación tiene un impacto directo en el costo total del muro, generando un aumento significativo, llegando a incrementarse en un 50% en comparación con el segundo caso.

5.4. Rango de Relaciones Geométricas.

De los resultados previos, se puede observar que las relaciones de tw y $h1$ son similares entre los suelos blandos y rocosos, mientras que entre B/H y x/B difieren entre ellos. Por lo tanto, se recomienda los siguientes rangos mostrados en la **Tabla 13**. Cabe destacar que en el caso de los suelos blandos se requiere una mayor variación para estas dos últimas.

A pesar de lo demostrado no se respalda la necesidad de un espesor de pantalla del 12% de la altura en suelos blandos, se ha decidido incluir este rango con el propósito de simplificar o igualar el enfoque en suelo rocoso. Se propone un límite superior del 105% de la altura (H) para la dimensión de la base en suelos blandos. Esta consideración se basa en métodos constructivos, ya que superar este valor podría resultar en la necesidad de tener estructuras muy robustas para

garantizar la estabilidad. Por tal motivo, si sobrepasa el límite, se deberá requerir otros métodos de diseño.

Tabla 13

Rangos Rocosos y Blandos

<u>Nomenclatura</u>	<u>Rango-Rocoso</u>	<u>Rango-Blando</u>
B	$(0.60 - 0.65) * H$	$(0.60 - 1.05) * H$
x	$(0.40 - 0.50) * B$	$(0.0 - 0.50) * B$
Tw	$(0.07 - 0.12) * H$	$(0.07 - 0.12) * H$
h1	$(0.07 - 0.11) * H$	$(0.06 - 0.11) * H$

Nota. Se comparará los rangos obtenidos con los rangos de predimensionamiento mostrados en la sección **2.4**.

Los rangos sugeridos para los valores de tw y h1 en ambos tipos de suelos muestran similitudes con el predimensionamiento recomendado por el ACI, mostrado en la **Figura 12**. Por otro lado, el enfoque propuesto por Torres, que se visualiza en la **Figura 13**, difiere en considerar espesores de pantalla y zapata del 10%. En el presente estudio, si se hubieran aplicado estos valores, no se hubiera podido identificar el diseño del muro más eficiente.

En lo que respecta a los rangos B/H, ambos autores proponen el mismo intervalo del 40 al 70% de la altura. Sin embargo, en suelos rocosos se rectificó esta relación y se ha mantenido, pero para suelos blandos se debió extender incluso hasta el 105% de la altura. Si se hubieran utilizado valores inferiores al 60%, este diseño no hubiera sido viable en términos de cumplimiento requiriendo mayores espesores, impactando negativamente el costo total del muro.

En lo que respecta a la posición de la pantalla, los autores proponen un rango específico para la punta. Si analizamos esta dimensión en suelos blandos, podría considerarse incluso un valor de 0%. Por lo tanto, es necesario que la medida de la punta resulte mayor al propuesto. Esta variación no es tan notoria en suelos rocosos, pero el límite establecido para la punta podría resultar insuficiente.

Epílogo

El trabajo analizó la eficiencia de muros en función de su geometría empleando un código Python, se demostró que la selección adecuada de los elementos desempeña un papel importante en la estabilidad, resistencia y economía. Proporcionando relaciones entre la altura del muro y sus componentes geométricos.

La generación de gráficos y tablas que relacionan las variables geométricas, brindan a los profesionales una idea para tomar decisiones en la fase de diseño. Estos resultados permitieron establecer recomendaciones con el objetivo de proveer un diseño que contribuya a optimizar el rendimiento estructural, promoviendo la construcción de estructuras económicamente viables.

Conclusiones

- Dado al análisis de relaciones geométricas se puede concluir que: A medida que aumenta la altura del muro en suelos blandos, la relación B/H , tw/H y $h1/H$ incrementan, mientras que x/B disminuye. Sin embargo, en suelo rocoso la relación tw/H y $h1/H$ incrementa, además la relación B/H y x/B se mantiene en un rango constante.
- Los costos se comportan de forma exponencial y se ven directamente influenciados por la relación B/H , en este caso los muros en suelos tipo B poseen menores costos, es decir, tienen menor relación.
- En suelos blandos el factor de la capacidad podría llegar a ser una limitante al momento de diseñar para alturas considerables, por eso al tener menor capacidad hará que sus dimensiones y costos se eleven, debido al aumento significativo de B/H .
- Los rangos obtenidos en suelo rocoso, en relación a los autores, son similares, sin embargo, para suelos blandos estos difieren de manera súbita en cuanto a la base.

Recomendaciones

- Los resultados obtenidos están basados a los casos de estudio presentados, cabe mencionar que existen limitaciones como: el espesor de la pantalla es constante, no existe ángulo de inclinación del relleno, no se considera el nivel freático ni sobrecargas. Por lo tanto, si se cambia alguna de estas limitaciones o propiedades del muro se deberá analizar la estabilidad y diseño.
- Los rangos de predimensionamiento obtenidos con las alturas previamente analizadas servirán como punto referencial de posibles diseños. Comprobar sí a mayores alturas y mismas condiciones, los rangos se mantienen o difieren.

- Se consideró una aceleración máxima en roca de 0.5. Por ello, se debe estudiar si en zonas de menor aceleración las relaciones geométricas obtenidas se mantienen o varían. Verificar si tener diferentes tipos de suelos en un mismo relleno altera los rangos propuestos.
- Los precios obtenidos son referenciales debido a que se contemplan los valores de hormigón, acero y relleno. Se debe comprobar si estos están acorde a la zona donde se pretende ejecutar la obra. En caso de no serlo, se deberá ajustar el precio.
- La ampliación de rubros no contemplados en esta investigación hará que los precios sean más exactos, tales como: el encofrado, uso de maquinaria, compactación y mano de obra.
- Acorde al primer caso, donde se obtuvieron resultados hasta alturas de 7 metros, se recomienda aumentar el rango para la base o considerar otras alternativas de diseño, como el uso de pilotes.

Referencias

- Camacho Ocaña, K. P., & Sánchez Andrade, K. V. (2022). *Propuesta para la sustitución del muro de contención colapsado en la calle de las cruces, Barrio Tucuso, Cantón Mejía, Provincia de Pichinca*. Quito: Universidad Politécnica Salesina Sede Quito .
- AASHTO. (2017). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications* (Octava ed.). Estados Unidos: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- ACI. (2014). *ACI SP-17 (14): The reinforced concrete design handbook*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- ASCE. (2016). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures* . United States : American Society of Civil Engineers .
- Báez Lozada, L. C., & Echeverri López, P. (2015). *Diseño de estructuras de contención considerando interacción suelo-estructura*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Ballón Benavente, A., & Echenique Sosa, J. F. (2017). *Análisis de estabilidad de muros de contención de acuerdo a las zonas sísmica del Perú*. Lima: UPC.
- Brooks, H., & Nielsen, J. (2013). *Basic of Retaining Wall Design* (Décima ed.). California: HBAPUBLICATIONS. Obtenido de <https://retainpro.com/pdf/basicslookinside.pdf>
- Junta de Andalucía. (2018). *Metro de Malaga*. Obtenido de <https://ocw.ehu.es/file.php/84/tema-8/teoria-tema-8.pdf>
- Lucero, F., Pachacama, E., & Rodríguez, W. (2012). *"ANÁLISIS Y DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN"*. Obtenido de Universidad Central del Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/156/1/T-UCE-0011-5.pdf>

Municipality of North Cowichan. (2023). *Retaining Wall Handbook*. Obtenido de https://www.northcowichan.ca/assets/Departments/Building/Retaining%20Wall%20Handbook_2023_05_02.pdf

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2008). *Seismic Analysis and Design of Retaining Walls, Buried Structures, Slopes, and Embankments*. Washington: Washington, DC: The National Academies Press. doi:<https://doi.org/10.17226/14189>

NEC. (2015). *Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente*. Ecuador: Norma Ecuatoriana de la Construcción. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

Ordoñez, D. A. (2017). *Muros de Contención*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38988060/MUROS_DE_CONTENCION_-_LA_MOLINA_LIMA-libre.pdf?1443874761=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMUROS_DE_CONTENCION_LA_MOLINA_LIMA.pdf&Expires=

Pachacama Caiza , E. A., Lucero Pardo , F. H., & Rodríguez Montero, W. A. (2012). *Análisis y diseño de muros de contención*. Quito: Universidad Central del Ecuador.

Rodríguez Serquén, A. (2022). *Puentes con AASHTO LRFD 2020* (Novena ed.). Perú.

Rojas , G., Peralta, M., Carranza , M., & Morales, O. (2011, Febrero 14). *ICOTEC*. Obtenido de Análisis, comparación y diseño optimizado para muros de contención.: [file://Anaisis_comparacion_dise%C3%B1o_optimizado_muros_ontencion%20\(1\).pdf](file://Anaisis_comparacion_dise%C3%B1o_optimizado_muros_ontencion%20(1).pdf)

Sitar, N., Candia, G., & Geraili, R. (2016, Septiembre 27). *Seismically Induced Lateral Earth Pressures on Retaining Structures and Basement Walls*. Obtenido de ResearchGate:

file:///C:/Users/usuario/Downloads/2012.-

SitarGerailiCandiaStateoftheArtSeismicallyInducedLateralEarthPressuresonRetainingStructuresandBasementWalls.pdf

Torres Belandria, R. A. (2008). *Análisis y diseño de muros de contención de concreto armado.*

Obtenido de

https://www.academia.edu/6737429/AN%C3%81LISIS_Y_DISE%C3%91O_DE_MUROS_DE_CONTENCI%C3%93N_DE_CONCRETO_ARMADO_RAFAEL_ANGEL_TORRES_BELANDRIA

Universidad Europea de Madrid. (2016). *Diseño y cálculo de estructuras de contención.* Obtenido

de Tema 5 - Muros y Pantalla Bloque I:

<https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/17.%20Tema%205%20-Muros%20y%20Pantallas%20Bloque%20I.pdf>

Useda Rincón , J. A., & Malaver Castillo, J. M. (2019). *Determinación del ángulo de fricción suelo-muro para el dimensionamiento de muros de contención sobre limos inorgánicos de baja compresibilidad presentes en la UPB de Bucaramanga.* Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

Washington State Department of Transportation [WSDOT]. (2022, Febrero). *Geotechnical Design*

Manual. Obtenido de <https://www.wsdot.wa.gov/publications/manuals/fulltext/M46-03/Geotech.pdf>

Yepes Piqueras, V. (2019, Noviembre 27). Obtenido de Blogs: Universidad Politecnica de

Valencia: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/11/27/empuje-de-tierras-mejor-coulomb-o-rankine/>

ANEXOS A

Tabla 14

Dimensiones óptimas respecto a la altura para tipo B

Tipo de Suelo B					
<i>Altura</i>	<i>Base</i>	<i>x</i>	<i>tw</i>	<i>h1</i>	<i>Costo</i>
4	2.60	1.30	0.28	0.28	383.29
5	3.25	1.46	0.35	0.35	643.53
6	3.90	1.75	0.42	0.48	990.46
7	4.55	2.05	0.56	0.56	1428.73
8	5.20	2.60	0.64	0.72	1971.26
9	5.85	2.63	0.81	0.81	2612.39
10	6.00	2.40	1.00	1.10	3358.13
11	6.60	2.97	1.32	1.10	4177.90
12	7.20	3.24	1.20	1.32	5109.89

Tabla 15

Dimensiones óptimas respecto a la altura para tipo D

Tipo de Suelo D					
<i>Altura</i>	<i>Base</i>	<i>x</i>	<i>tw</i>	<i>h1</i>	<i>Costo</i>
4	2.60	1.30	0.28	0.28	396.05
5	3.25	1.62	0.35	0.40	666.20
6	3.90	1.56	0.48	0.48	1036.17
7	4.90	2.21	0.56	0.63	1539.27
8	5.60	2.24	0.72	0.64	2128.86
9	6.75	2.70	0.90	0.81	2924.74
10	7.50	2.25	0.80	0.90	3880.12
11	8.25	2.06	0.99	1.10	4910.27
12	9.60	1.44	1.08	1.32	6377.99

Tabla 16

Dimensiones óptimas respecto a la altura para tipo E

Tipo de Suelo E					
<i>Altura</i>	<i>Base</i>	<i>x</i>	<i>tw</i>	<i>h1</i>	<i>Costo</i>
4	2.40	1.08	0.28	0.24	357.38
5	3.00	1.20	0.35	0.35	599.68
6	3.90	1.36	0.42	0.42	954.96
7	4.90	1.47	0.49	0.49	1437.94
8	5.60	0.28	0.80	0.72	2070.01
9	7.20	0.72	0.72	0.81	2892.50
10	8.50	0.42	0.90	0.80	3890.10
11	10.45	0.00	0.99	0.88	5252.45
12	12.60	0.00	1.08	0.96	6934.89

Tabla 17

Relación Base vs Altura

Relación (B/H)			
<i>H</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
4	0.65	0.65	0.60
5	0.65	0.65	0.60
6	0.65	0.65	0.65
7	0.65	0.70	0.70
8	0.65	0.70	0.70
9	0.65	0.75	0.80
10	0.60	0.75	0.85
11	0.60	0.75	0.95
12	0.60	0.80	1.05

Tabla 18

Relación Posición de Pantalla vs Base

Relación (x/B)			
<i>H</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
4	0.50	0.50	0.45
5	0.45	0.50	0.40
6	0.45	0.40	0.35
7	0.45	0.45	0.30
8	0.50	0.40	0.05
9	0.45	0.40	0.10
10	0.40	0.30	0.05
11	0.45	0.25	0.00
12	0.45	0.15	0.00

Tabla 19

Relación Espesor de Pantalla vs Altura

Relación (tw/H)			
<i>H</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
4	0.07	0.07	0.07
5	0.07	0.07	0.07
6	0.07	0.08	0.07
7	0.08	0.08	0.07
8	0.08	0.09	0.10
9	0.09	0.10	0.08
10	0.10	0.08	0.09
11	0.12	0.09	0.09
12	0.10	0.09	0.09

Tabla 20

Relación Espesor de Zapata vs Altura

Relación (h1/H)			
<i>H</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
4	0.07	0.07	0.06
5	0.07	0.08	0.07
6	0.08	0.08	0.07
7	0.08	0.09	0.07
8	0.09	0.08	0.09
9	0.09	0.09	0.09
10	0.11	0.09	0.08
11	0.10	0.10	0.08
12	0.11	0.11	0.08

ANEXOS B

Tabla 21

Fallas Predominantes en Suelo Rocoso – 1er Caso

<i>Altura</i>	<i>Exc. R1</i>	<i>Exc. R2</i>	<i>Exc. Ev</i>	<i>Des. R</i>	<i>Des. Ev</i>	<i>Pres. R</i>	<i>Pres. EV</i>	<i>Gobierna</i>	<i>Falla</i>
4	0.261	0.121	0.880	0.508	0.867	0.061	0.067	0.880	Exc. Ev
5	0.261	0.113	0.887	0.536	0.902	0.071	0.080	0.902	Des. Ev
6	0.254	0.110	0.876	0.493	0.870	0.085	0.096	0.876	Exc. Ev
7	0.251	0.110	0.868	0.482	0.855	0.102	0.113	0.868	Exc. Ev
8	0.247	0.117	0.856	0.418	0.794	0.125	0.135	0.856	Exc. Ev
9	0.242	0.108	0.851	0.430	0.810	0.134	0.146	0.851	Exc. Ev
10	0.307	0.154	0.999	0.377	0.796	0.164	0.214	0.999	Exc. Ev
11	0.317	0.175	0.999	0.388	0.776	0.204	0.255	0.999	Exc. Ev
12	0.307	0.163	0.996	0.359	0.770	0.210	0.266	0.996	Exc. Ev

Tabla 22

Fallas Predominantes en Suelo Blando (D) – 1er Caso

<i>Altura</i>	<i>Exc. R1</i>	<i>Exc. R2</i>	<i>Exc. Ev</i>	<i>Des. R</i>	<i>Des. Ev</i>	<i>Pres. R</i>	<i>Pres. EV</i>	<i>Gobierna</i>	<i>Falla</i>
4	0.193	0.016	0.710	0.472	0.986	0.942	0.848	0.986	Des. Ev
5	0.163	0.008	0.567	0.481	0.995	0.970	0.746	0.995	Des. Ev
6	0.139	0.013	0.403	0.511	0.990	0.960	0.631	0.990	Des. Ev
7	0.119	0.019	0.317	0.520	0.973	0.994	0.600	0.994	Pres. R

Tabla 23

Fallas Predominantes en Suelo Blando (E) – 1er Caso

<i>Altura</i>	<i>Exc. R1</i>	<i>Exc. R2</i>	<i>Exc. Ev</i>	<i>Des. R</i>	<i>Des. Ev</i>	<i>Pres. R</i>	<i>Pres. EV</i>	<i>Gobierna</i>	<i>Falla</i>
4	0.253	0.047	0.588	0.631	0.913	0.989	0.750	0.989	Pres. R
5	0.253	0.048	0.519	0.694	0.975	0.995	0.709	0.995	Pres. R
6	0.334	0.158	0.508	0.676	0.974	0.999	0.655	0.999	Pres. R
7	0.186	0.059	0.307	0.638	0.909	0.999	0.583	0.999	Pres. R

Tabla 24

Fallas Predominantes en Suelo Blando (D) – 2do Caso

<i>Altura</i>	<i>Exc. R1</i>	<i>Exc. R2</i>	<i>Exc. Ev</i>	<i>Des. R</i>	<i>Des. Ev</i>	<i>Pres. R</i>	<i>Pres. EV</i>	<i>Gobierna</i>	<i>Falla</i>
4	0.352	0.164	0.994	0.508	0.945	0.513	0.700	0.994	Exc. Ev
5	0.343	0.159	0.983	0.468	0.915	0.644	0.864	0.983	Exc. Ev
6	0.343	0.142	0.996	0.509	0.971	0.702	0.983	0.996	Exc. Ev
7	0.232	0.070	0.808	0.413	0.863	0.819	0.878	0.878	Pres. EV
8	0.236	0.064	0.817	0.469	0.913	0.892	0.975	0.975	Pres. EV
9	0.145	0.001	0.666	0.396	0.834	0.979	0.916	0.979	Pres. R
10	0.171	0.000	0.714	0.464	0.935	0.928	0.923	0.935	Des. Ev
11	0.177	0.003	0.718	0.433	0.922	0.997	0.999	0.999	Pres. EV
12	0.176	0.003	0.676	0.415	0.934	0.954	0.912	0.954	Pres. R

Tabla 25

Fallas Predominantes en Suelo Blando (E) – 2do Caso

<i>Altura</i>	<i>Exc. R1</i>	<i>Exc. R2</i>	<i>Exc. Ev</i>	<i>Des. R</i>	<i>Des. Ev</i>	<i>Pres. R</i>	<i>Pres. EV</i>	<i>Gobierna</i>	<i>Falla</i>
4	0.492	0.256	0.935	0.619	0.882	0.785	0.820	0.935	Exc. Ev
5	0.495	0.249	0.939	0.607	0.886	0.933	0.990	0.990	Pres. EV
6	0.380	0.154	0.781	0.603	0.882	0.966	0.861	0.966	Pres. R
7	0.294	0.083	0.657	0.606	0.884	0.990	0.793	0.990	Pres. R
8	0.514	0.238	0.849	0.668	0.991	0.991	0.934	0.991	Pres. R
9	0.303	0.093	0.592	0.591	0.906	0.986	0.737	0.986	Pres. R
10	0.313	0.100	0.566	0.671	0.968	0.995	0.722	0.995	Pres. R
11	0.332	0.134	0.532	0.686	0.982	0.982	0.673	0.982	Pres. R
12	0.242	0.075	0.411	0.637	0.927	0.999	0.635	0.999	Pres. R

ANEXOS C

```
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import math

#Parametros del suelo
phi_f = 30 # Ángulo de fricción interna
beta = 0 # Ángulo de inclinación de pantalla del muro con respecto a la vertical
i = 0 # Ángulo de inclinación superficie de relleno
delta = 0 # Ángulo de fricción entre el muro y suelo

# Ángulo en radianes
phi = math.radians(phi_f)
beta = math.radians(beta)
i = math.radians(i)
delta = math.radians(delta)

gamma_c = 2.4 # Peso específico del hormigón en toneladas/m^3
gamma_s = 1.7 # Peso específico del relleno en toneladas/m^3
f_c = 350 # Resistencia a la compresión del hormigon en kg/cm^2
f_y = 4200 # Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo en kg/cm^2
Z = 0.5 # Aceleración maxima en roca
gamma_acero = 0.785 #Peso específico del acero

#Consideración del esfuerzo del suelo
"""Condiciones sismicas según la NEC 2015 """
# Tipos de Suelos según NEC 2015
base_de_datos = {
    "B": 1,
    "D": 1.12,
```

```
"E": 0.85
}
```

```
""""Consideración del esfuerzo del suelo tanto para resistencia y sismo""""
```

```
base_de_datos_Qadm = {
    "B": {"resistencia": 150, "sismo": 250},
    "D": {"resistencia": 5, "sismo": 8},
    "E": {"resistencia": 5, "sismo": 8}
}
```

```
# Metodo constructivo
```

```
construccion = "SITIO"
```

```
C = 1
```

```
""""Factores de mayoración de carga""""
```

```
# RESISTENCIA
```

```
# Para Deslizamiento
```

```
fi_DC_SLD = 0.90
```

```
fi_EV_SLD = 1
```

```
fi_EH_SLD = 1.5
```

```
# Para Excentricidad
```

```
fi_DC_BEA = 1.25
```

```
fi_EV_BEA = 1.35
```

```
fi_EH_BEA = 1.5
```

```
# EVENTO EXTREMO 1
```

```
fi_DC_EV1 = 1
```

```
fi_EV_EV1 = 1
```

```
fi_EH_EV1 = 1
```

```
fi_EQ_EV1 = 1
```

```
def eficiente_por_altura(H, Bl, xl, twl, h1l):
```

```
    d = []
```

```
    dato_cumple=[]
```

```

dato_no_cumple=[]
demandas_capacidad=[]
demandas_capacidad_cum=[]
for B in B1:
    for x in xl[B1.index(B)]:
        for tw in twl:
            for h1 in h1l:

                b3 = B-x-tw
                h2 = 0.15*H #float(input("Ingrese la altura del relleno pasivo (en metros): "))
                if b3 > 0.01*B:
                    costo_cumplimiento = calcular_costo_cumplimiento(H,B, x, tw, h1,h2,b3)
                    if costo_cumplimiento is not None:
                        costo= costo_cumplimiento[0]
                        cumple = costo_cumplimiento[1]
                        dem_cap=costo_cumplimiento[2]
                        d.append([B,round(x,2),tw,h1,round(costo,2),cumple])

demandas_capacidad.append([B,round(x,2),tw,h1,round(costo,2),dem_cap[0],dem_cap[1],dem
_cap[2],dem_cap[3],dem_cap[4],dem_cap[5],dem_cap[6],dem_cap[7],dem_cap[8],dem_cap[9]
])

                if cumple=="CUMPLE":
                    dato_cumple.append([B,round(x,2),tw,h1,round(costo,2),cumple])

demandas_capacidad_cum.append([B,round(x,2),tw,h1,dem_cap[0],dem_cap[1],dem_cap[2],d
em_cap[3],dem_cap[4],dem_cap[5],dem_cap[6],dem_cap[7],dem_cap[8],dem_cap[9]])
                else:
                    dato_no_cumple.append([B,round(x,2),tw,h1,round(costo,2),cumple])

DatoT = pd.DataFrame(d, columns=["Base", "x", "tw", "h1", "Costo", "Cumplimiento"])
lugar = DatoT.loc[DatoT["Costo"].idxmin()]
FinalT = [H, *lugar[["Base", "x", "tw", "h1", "Costo", "Cumplimiento"]]]

```

```

if len(dato_cumple)>0:
    DatoC = pd.DataFrame(dato_cumple, columns=["Base", "x", "tw", "h1", "Costo",
"Cumplimiento"])
    lugarC = DatoC["Costo"].idxmin()
    FinalC = [H] + list(DatoC.loc[lugarC, ["Base", "x", "tw", "h1", "Costo",
"Cumplimiento"]])
    Dato_Demanda_Capacidad=pd.DataFrame(demandas_capacidad_cum,columns=["Base",
"x", "tw", "h1", "r1.1","r1.2","r2","r3.1","r3.2","r4","r5","r6","r7","r8"])
    Final_Demanda_Capacidad_Cumple = [H] + list(Dato_Demanda_Capacidad.loc[lugarC,
["Base", "x", "tw", "h1", "r1.1","r1.2","r2","r3.1","r3.2","r4","r5","r6","r7","r8"]])

else:
    FinalC=[H,0,0,0,0,0,"No Valido"]
    Final_Demanda_Capacidad_Cumple = [H,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]
    DatoNC = pd.DataFrame(dato_no_cumple, columns=["Base", "x", "tw", "h1", "Costo",
"Cumplimiento"])
    lugarNC = DatoNC["Costo"].idxmin()
    FinalNC = [H] + list(DatoNC.loc[lugarNC, ["Base", "x", "tw", "h1", "Costo",
"Cumplimiento"]])

print(FinalC)
return FinalT,FinalC,FinalNC, Final_Demanda_Capacidad_Cumple

def calcular_costo_cumplimiento(H,B, x, tw, h1,h2,b3):
    # Cálculo del peso de la zapata por metro lineal
    V_Z = B * h1
    W_Z = V_Z *  $\gamma_c$ 
    Ux_Z = B/2 # Ubicación en x con respecto a la punta
    Uy_Z = h1/2 # Ubicación en y con respecto a la punta

    MZ_Ux = (V_Z *  $\gamma_c$ ) * Ux_Z
    MZ_Uy = (V_Z *  $\gamma_c$ ) * Uy_Z

    # Cálculo del peso de la pantalla por metro lineal

```

$$V_P = (H - h1) * tw$$

$$W_P = V_P * \gamma_c$$

$$U_{x_P} = b3 + tw/2 \text{ \# Ubicación en x con respecto a la punta}$$

$$U_{y_P} = h1 + (H - h1) / 2 \text{ \# Ubicación en y con respecto a la punta}$$

$$MP_{Ux} = (V_P * \gamma_c) * U_{x_P}$$

$$MP_{Uy} = (V_P * \gamma_c) * U_{y_P}$$

CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DEL ESTRIBO

$$VDC = W_Z + W_P$$

$$YDC = (MZ_{Uy} + MP_{Uy}) / (W_Z + W_P)$$

$$M_{xDC} = MZ_{Ux} + MP_{Ux}$$

Cálculo del peso del relleno activo por metro lineal

$$H_R = (H - h1)$$

$$V_{R_1} = (x * H_R)$$

$$W_{R_1} = V_{R_1} * \gamma_s$$

$$MR1_{Ux} = (V_{R_1} * \gamma_s) * (b3 + tw + (x / 2))$$

$$MR1_{Uy} = (V_{R_1} * \gamma_s) * (h1 + (H - h1) / 2)$$

Cálculo del peso del relleno pasivo por metro lineal

$$V_{R_2} = (b3 * h2)$$

$$W_{R_2} = V_{R_2} * \gamma_s$$

$$MR2_{Ux} = (V_{R_2} * \gamma_s) * (b3/2)$$

$$MR2_{Uy} = (V_{R_2} * \gamma_s) * (h1 + (h2 / 2))$$

CÁLCULO DE LOS TERRENOS

$$VEV = W_{R_1} + W_{R_2}$$

$$YEV = (MR1_{Uy} + MR2_{Uy}) / (W_{R_1} + W_{R_2})$$

$$M_{xEV} = MR1_{Ux} + MR2_{Ux}$$

Cálculo del peso completo del muro de contención por metro lineal

$$W_C = W_Z + W_P + W_{R_1} + W_{R_2}$$

Calculo de cargas horizontales

Cálculo de Ψ y K_a

$$\Psi = (1 + ((\mathit{math.sin}(\phi + \beta) * \mathit{math.sin}(\phi - i)) / (\mathit{math.cos}(\delta + \beta) * \mathit{math.cos}(i - \beta))))^{(1/2)^{(2)}}$$

$$K_a = K_a = (\mathit{math.cos}(\phi - \beta)^{** 2}) / ((\mathit{math.cos}(\beta)^{** 2}) * \Psi * \mathit{math.cos}(\delta + \beta))$$

$$EH = (1/2) * (H^{**2}) * \gamma_s * K_a \quad \# \text{ Cálculo del empuje activo del terreno}$$

$$y_{EH} = (1/3) * (H) \quad \# \text{ Ubicación de la fuerza resultante}$$

$$MEH = EH * y_{EH}$$

Cálculo de K_p

$$K_p = (\mathit{math.tan}(\mathit{math.radians}(45) + (\phi / 2)))^{**2}$$

$$EH_p = (1/2) * ((h_1 + h_2)^{**2}) * (\gamma_s) * (K_p)$$

$$y_{Pp} = (1/3) * (h_1 + h_2)$$

$$MEH_p = EH_p * y_{Pp}$$

Cálculo del empuje sísmico

$$K_{ho} = (F_{pga}) * (Z)$$

$$K_h = (0.5) * (K_{ho})$$

$$K_v = 0$$

$$\phi_s = \mathit{math.atan}(K_h / (1 - K_v))$$

$$K_{AE} = ((\mathit{math.cos}(\phi - \phi_s - \beta)^{**2}) /$$


```

(math.cos(φs) *
math.cos(β)**2
* math.cos(δ + β + φs) *
(1 + math.sqrt((math.sin(φ + δ)
* math.sin(φ - φs - i)) /
(math.cos(δ + β + φs) *
math.cos(i - β))))**2)
PAE = (1/2) * (KAE) * (γs) * (H**2)

#Acción sísmica del terreno
EQ = PAE - EH
U_EQ = (H) * 0.6
MEQ = (EQ) * U_EQ

""Fuerzas inerciales del estribo""
PIR = Kh * (W_C)

# Calcular los valores de C1 y C2
C1 = PAE + (0.5 * PIR)
C2 = max((0.5 * PAE), EH) + PIR

# Seleccionar el valor deseado
if C1 > C2:
    PIR_R = 0.5 * PIR
else:
    PIR_R = PIR
# Ubicación del PIR
U_PIR = ((VDC * YDC) + (VEV * YEV)) / (VDC + VEV)
MPIR = PIR_R * U_PIR

# CHEQUEOS DEL MURO
"" Carga vertical ""

```

```

# REVISION DE DESLIZAMIENTO
VDC1 = (fi_DC_SLD) * (VDC) + (fi_EV_SLD) * (VEV)
MVSD1 = (fi_DC_SLD) * (MxDC) + (fi_EV_SLD) * (MxEV)
# REVISION POR BEARING (PRESIONES)
VB1 = (fi_DC_BEA) * (VDC) + (fi_EV_BEA) * (VEV)
MBEA1 = (fi_DC_BEA) * (MxDC) + (fi_EV_BEA) * (MxEV)
# EVENTO EXTREMO VERTICAL
VDC_EV = (fi_DC_EV1) * (VDC) + (fi_EV_EV1) * (VEV)
MDC_EV = (fi_DC_EV1) * (MxDC) + (fi_EV_EV1) * (MxEV)
""Carga horizontal""
HEH1 = (fi_EH_SLD) * (EH) - (fi_EH_SLD) * (EHp)
MHEH1 = (fi_EH_SLD) * (MEH) - (fi_EH_SLD) * (MEHp)
HEH_EV = (fi_EH_EV1) * (EH - EHp) + (fi_EQ_EV1) * (EQ + PIR_R)
MHEH_EV = (fi_EH_EV1) * (MEH - MEHp) + (fi_EQ_EV1) * (MEQ + MPIR)
""Chequeo de excentricidad""
e1 = (B/2) - (( MVSD1 - MHEH1 ) / VDC1)
e2 = (B/2) - (( MBEA1 - MHEH1 ) / VB1)
e3 = (B/2) - (( MDC_EV - MHEH_EV ) / VDC_EV)
if e2>0:
    # Verificar la consideraci√n seg√n el tipo de suelo
    if suelo == "B":
        emax = 0.45 * B
    elif suelo == "D" or suelo == "E":
        emax = B / 3
    # Verificar si e1 y e2 cumplen con la consideraci√n del suelo
    if e1 < emax and e2 < emax:
        c1="CUMPLE"
    else:
        c1="NO CUMPLE"
    emax_Ev = B / 3
    if e3 < emax_Ev :
        c2="CUMPLE"

```

```

else:
    c2="NO CUMPLE"
r1_1=e1/emax
r1_2=e2/emax
r2=e3/emax_Ev
""""Chequeo de deslizamiento""""
# Forma Constructiva
u = math.tan((phi))
phi_t = 1
Fe1 = min(VDC1 , VB1) * C * u * phi_t
Fe2 = VDC_EV * C * u * phi_t

# VERIFICACION DE CHEQUEO POR DESLIZAMIENTO
if Fe1 > HEH1 and Fe2 > HEH_EV:
    c3="CUMPLE"
else:
    c3="NO CUMPLE"
r3_1=HEH1/Fe1
r3_2=HEH_EV/Fe2
resultado1 = (VDC1 / B) * (1 + 6 * (e1 / B))
resultado2 = (VDC1 / B) * (1 - 6 * (e1 / B))
# Redistribuci√n de esfuerzo
R1_1 = min(resultado1,resultado2)
if R1_1 < 0:
    R1_1e = (2 * VDC1) / (3 * (B/2 - e1))
else:
    R1_1e = max(resultado1,resultado2)

LR1_1e = (VDC1 / (R1_1e / 2))

resultado3 = (VB1 / B) * (1 + 6 * (e2 / B))
resultado4 = (VB1 / B) * (1 - 6 * (e2 / B))

```

```

# Redistribución de esfuerzo
R2_2 = min(resultado3,resultado4)
if R2_2 < 0:
    R2_2e = (2 * VB1) / (3 * (B/2 - e2))
else:
    R2_2e = max(resultado3,resultado4)
LR2_2e = (VB1 / (R2_2e / 2) )

resultado5 = (VDC_EV / B) * (1 + 6 * (e3 / B))
resultado6 = (VDC_EV/B) * (1 - 6 * (e3 / B))
# Redistribución de esfuerzo
R3_3 = min(resultado5,resultado6)
if R3_3 < 0:
    R3_3e = (2 * VDC_EV) / (3 * (B/2 - e3))
else:
    R3_3e = max(resultado5,resultado6)

LR3_3e = (VDC_EV / (R3_3e / 2) )

""""Chequeo de presiones en la base""""
if suelo == "B":
    # Cálculos para suelo rocoso (Tipo B)
    max_valor = max(R1_1e, R2_2e)
    max_valor_ev = R3_3e
    r4= max_valor/Qadm_resistencia
    r5= max_valor_ev/Qadm_sismo
    if max_valor < Qadm_resistencia :
        c4="CUMPLE"
        if max_valor_ev < Qadm_sismo:
            c5="CUMPLE"
        else:
            c5="NO CUMPLE"

```

else:

c4="NO CUMPLE"

c5="NO CUMPLE"

else:

Cálculos para suelo blando (Tipos D o E)

resultado7 = $VDC1 / (B - 2 * e1)$

resultado8 = $VB1 / (B - 2 * e2)$

resultado9 = $VDC_EV / (B - 2 * e3)$

max_valor_blando = $\max(\text{resultado7}, \text{resultado8})$

max_valor_blando_ev = resultado9

r4 = $\text{max_valor_blando} / Q_{adm_resistencia}$

r5 = $\text{max_valor_blando_ev} / Q_{adm_sismo}$

if max_valor_blando < $Q_{adm_resistencia}$:

c4="CUMPLE"

if max_valor_blando_ev < Q_{adm_sismo} :

c5="CUMPLE"

else:

c5="NO CUMPLE"

else:

c4="NO CUMPLE"

c5="NO CUMPLE"

""""Calculo de momento para acero inferior""""

$W_{punta} = (b3) * (h1) * (\gamma_c)$

$U_{punta} = (b3 / 2)$

$M_{punta} = W_{punta} * U_{punta}$

$WR_{punta} = W_{R_2}$

$MR_{punta} = WR_{punta} * U_{punta}$

$W_{talon} = (x) * (h1) * (\gamma_c)$

$U_{talon} = (x / 2)$

$$M_{\text{talon}} = W_{\text{talon}} * U_{\text{talon}}$$

$$W_{\text{Rtalon}} = W_{\text{R}_1}$$

$$M_{\text{Rtalon}} = W_{\text{Rtalon}} * U_{\text{talon}}$$

if LR1_1e > B:

$$q_{3h_R1} = (((R1_1e - R1_1) * (B - b3)) / (B)) + R1_1$$

else:

$$q_{3h_R1} = (R1_1e * (LR1_1e - b3)) / (LR1_1e)$$

$$M_{q_{3h_R1}} = -(fi_DC_SLD) * (M_{\text{punta}}) - (fi_EV_SLD) * (M_{\text{Rpunta}}) + (((R1_1e - q_{3h_R1}) * b3^{**2}) / 3) + (q_{3h_R1} * b3^{**2}) / 2$$

if LR2_2e > B:

$$q_{3h_R2} = (((R2_2e - R2_2) * (B - b3)) / (B)) + R2_2$$

else:

$$q_{3h_R2} = (R2_2e * (LR2_2e - b3)) / (LR2_2e)$$

$$M_{q_{3h_R2}} = -(fi_DC_BEA) * (M_{\text{punta}}) - (fi_EV_BEA) * (M_{\text{Rpunta}}) + (((R2_2e - q_{3h_R2}) * b3^{**2}) / 3) + (q_{3h_R2} * b3^{**2}) / 2$$

if LR3_3e > B:

$$q_{3h_Ev} = (((R3_3e - R3_3) * (B - b3)) / (B)) + R3_3$$

else:

$$q_{3h_Ev} = (R3_3e * (LR3_3e - b3)) / (LR3_3e)$$

$$M_{q_{3h_Ev}} = -(fi_DC_EV1) * (M_{\text{punta}}) - (fi_EV_EV1) * (M_{\text{Rpunta}}) + (((R3_3e - q_{3h_Ev}) * b3^{**2}) / 3) + (q_{3h_Ev} * b3^{**2}) / 2$$

""C√°lculo de Momento para acero superior""

""RESISTENCIA 1""

if LR1_1e > B:

$$q_{3ph_R1} = (((R1_1e - R1_1) * (B - b3 - tw)) / B) + R1_1$$

else:

if LR1_1e > b3 + tw:

$$q_{3ph_R1} = (R1_1e * (LR1_1e - b3 - tw)) / LR1_1e$$

else:

$$q_{3ph_R1} = 0$$

if R1_1 < 0:

$$V_{qeph_R1} = ((-q_{3ph_R1} * (LR1_1e - b3 - tw)) / 2)$$

else:

$$V_{qeph_R1} = (B - b3 - tw) * ((-q_{3ph_R1} - R1_1) / 2) - R1_1$$

$$V_{q3ph_R1} = V_{qeph_R1} + (fi_DC_SLD) * (W_{talon}) + (fi_EV_SLD) * (WR_{talon})$$

if R1_1 < 0:

$$M_{q3ph_R1} = (-q_{3ph_R1} * ((LR1_1e - b3 - tw)**2)) / 6$$

else:

$$M_{q3ph_R1} = ((B - b3 - tw)**2) * ((-q_{3ph_R1} - R1_1) / 6) - (R1_1/2)$$

$$M_{q3ph_R11} = M_{q3ph_R1} + (fi_DC_SLD) * (M_{talon}) + (fi_EV_SLD) * (MR_{talon})$$

""""RESISTENCIA 2""""

if LR2_2e > B:

$$q_{3ph_R2} = (((R2_2e - R2_2) * (B - b3 - tw)) / B) + R2_2$$

else:

if LR2_2e > b3 + tw:

$$q_{3ph_R2} = (R2_2e * (LR2_2e - b3 - tw)) / LR2_2e$$

else:

$$q_{3ph_R2} = 0$$

if R2_2 < 0:

$$V_{qeph_R2} = ((-q_{3ph_R2} * (LR2_2e - b3 - tw)) / 2)$$

else:

$$Vqeph_R2 = (B - b3 - tw) * ((-q3ph_R2 - R2_2) / 2) - R2_2)$$

$$Vq3ph_R2 = Vqeph_R2 + (fi_DC_BEA) * (Wtalon) + (fi_EV_BEA) * (WRtalon)$$

if R2_2 < 0:

$$Mq3ph_R2 = (-q3ph_R2 * ((LR2_2e - b3 - tw)**2)) / 6$$

else:

$$Mq3ph_R2 = ((B - b3 - tw)**2) * ((-q3ph_R2 - R2_2) / 6) - (R2_2/2))$$

$$Mq3ph_R22 = Mq3ph_R2 + (fi_DC_BEA) * (Mtalon) + (fi_EV_BEA) * (MRtalon)$$

""EVENTO EXTREMO 1""

if LR3_3e > B:

$$q3ph_R3 = (((R3_3e - R3_3) * (B - b3 - tw)) / B) + R3_3$$

else:

if LR3_3e > b3 + tw:

$$q3ph_R3 = (R3_3e * (LR3_3e - b3 - tw)) / LR3_3e$$

else:

$$q3ph_R3 = 0$$

if R3_3 < 0:

$$Vqeph_R3 = ((-q3ph_R3 * (LR3_3e - b3 - tw)) / 2)$$

else:

$$Vqeph_R3 = (B - b3 - tw) * ((-q3ph_R3 - R3_3) / 2) - R3_3)$$

$$Vq3ph_R3 = Vqeph_R3 + (fi_DC_EV1) * (Wtalon) + (fi_EV_EV1) * (WRtalon)$$

if R3_3 < 0:

$$Mq3ph_R3 = (-q3ph_R3 * ((LR3_3e - b3 - tw)**2)) / 6$$

else:

$$Mq3ph_R3 = ((B - b3 - tw)**2) * ((-q3ph_R3 - R3_3) / 6) - (R3_3/2))$$

$$Mq3ph_R33 = Mq3ph_R3 + (fi_DC_EV1) * (Mtalon) + (fi_EV_EV1) * (MRtalon)$$

$$Vq_sup = \max(Vq3ph_R1, Vq3ph_R2, Vq3ph_R3)$$

$$Mq_inf = \max(Mq3h_R1, Mq3h_R2, Mq3h_Ev)$$

$$Mq_sup = \max(Mq3ph_R11, Mq3ph_R22, Mq3ph_R33)$$

""Luego de los chequeos se procede a diseñar la zapata y la pantalla del muro teniendo en cuenta las directrices del diseño a flexión y corte""

$$EHP = (1/2) * (Ka) * (H - h1)^2 * (\gamma_s)$$

$$U_EHP = (H - h1) / 3$$

$$MEHP = EHP * U_EHP$$

$$EQP = (1/2) * (KAE - Ka) * (H - h1)^2 * (\gamma_s)$$

$$U_EQP = (H - h1) * 0.6$$

$$MEQP = EQP * U_EQP$$

$$P_PIR = (Kh) * (W_P)$$

$$P_PAE = EHP + EQP$$

$$C1P = P_PAE + (0.5 * P_PIR)$$

$$C2P = \max((0.5 * P_PAE), EHP) + P_PIR$$

Seleccionar el valor deseado

if C1P > C2P:

$$PIR_P = 0.5 * P_PIR$$

else:

$$PIR_P = P_PIR$$

$$U_P_PIR = (H - h1) / 2$$

$$M_P_PIR = PIR_P * U_P_PIR$$

```

# ACERO A FLEXIÓN DE PANTALLA
MRP = (fi_EH_SLD) * (MEHP)
MEVP = (fi_EH_EV1) * (MEHP + M_P_PIR + MEQP)

M_Diseño_P = max(MRP ,MEVP)
""""Con el momento calculado se calcula el diseño a flexión""""
# CONSIDERACIONES DE DISEÑO
β1 = 0.85
φD = 0.9
rou_min = 14/f_y

# Recubrimiento de la pantalla
rec_P = 0.05 #en m
b = 1 # en m
#PERALTE DE LA PANTALLA
dP = tw - rec_P
# ACERO MINIMO
McrP = ((1.2) * (2 *math.sqrt(f_c)) * ((b * tw**2) / 6)) * 10
MminP = McrP

if M_Diseño_P > MminP :
    MdP = M_Diseño_P
else :
    MdP = MminP

CP = MdP*10**5/(0.9*β1*((dP*100)**2)*(b*100)*f_c)
w1=(1+(1-(4*0.59*CP))**0.5)/(2*0.59)
w2=(1-(1-(4*0.59*CP))**0.5)/(2*0.59)

wp = min(w1,w2)
rou_p=wp*(f_c/f_y)

```

```

AsPreq= rou_p*100*(dP*100)
AsPmin1 = (4*AsPreq)/3
AsPmin2 = rou_min*(b*100)*(dP*100)
AsPmin = min(AsPmin1,AsPmin2)

if AsPreq < AsPmin:
    AsP = AsPmin
else:
    AsP = AsPreq
# As POR TEMPERATURA

Astemp = (0.18 * ((H-h1)* tw) / (2 * ((H - h1) + tw))) * 100

if Astemp < 12.7 and Astemp > 2.33:
    AstemP = Astemp
elif Astemp > 12.7:
    AstemP = 12.7
else:
    AstemP = 2.33
# REVISIÓN POR CORTANTE DE LA PANTALLA
VC_RP = (fi_EH_SLD) * (EHP)
VC_EV1 = (fi_EH_EV1) * (EHP) + (fi_EQ_EV1) * (EQP + PIR_P)
VuP = max(VC_RP, VC_EV1)
VcP = (0.53) * math.sqrt(f_c) * (b) * (dP) * (10)
Vs = 0
Vp = 0
VnP = VcP + Vs + Vp
φVnP = (φD) * VnP
r6=VuP/φVnP
if φVnP > VuP:
    c6="CUMPLE"
else:

```

c6="NO CUMPLE"

""""DISEÑO DE CIMENTACION""""

""""ACERO SUPERIOR DE ZAPATA""""

NO VAMOS A CONSIDERAR EL EVENTO EXTREMO PORQUE NO SERA CRÍTICO

MuZ = Mq_sup

ACERO MÍNIMO

McrZ = ((1.2) * (2 * math.sqrt(f_c)) * ((b * h1**2) / 6)) * 10

MzD = McrZ

if MuZ > MzD :

 MZP = MuZ

else :

 MZP = MzD

Recubrimiento de la Zapata

rec_z = 0.075 #en cm

dZ = h1 - rec_z

CZsup = MZP*100000/(0.9*β1*((dZ*100)**2)*100*f_c)

if (4*0.59*CZsup)<1:

 w1Zsup=(1+(1-(4*0.59*CZsup))**0.5)/(2*0.59)

 w2Zsup=(1-(1-(4*0.59*CZsup))**0.5)/(2*0.59)

 wZsup=min(w1Zsup,w2Zsup)

rou_Z=wZsup*(f_c/f_y)

AsZreq=rou_Z*100*(dZ*100)

AsZmin1 = (4*AsZreq)/3

AsZmin2 = rou_min*(b*100)*(dZ*100)

AsZmin = min(AsZmin1,AsZmin2)

```

if AsZreq < AsZmin:
    AsZ = AsZmin
else:
    AsZ = AsZreq

# As POR TEMPERATURA
AstempZ = (0.18 * ((B * h1) / (2 * ((B + h1)))) * 100

if AstempZ < 12.7 and AstempZ > 2.33:
    AstemZ = AstempZ
elif AstempZ > 12.7:
    AstemZ = 12.7
else:
    AstemZ = 2.33
# REVISIÓN POR CORTANTE DE LA ZAPATA PARTE SUPERIOR

VC_RZ = Vq_sup
VcZ = (0.53) * math.sqrt(f_c) * (b) * (dZ) * (10)
VnZ = VcZ + Vs + Vp
φVnZ = (φD) * VnZ
r7=VC_RZ/φVnZ
if φVnZ > VC_RZ:
    c7="CUMPLE"
else:
    c7="NO CUMPLE"
""""ACERO INFERIOR DE LA ZAPATA""""
# CONSERVADORAMENTE TENEMOS
MuZinf = Mq_inf
McrZinf = ((1.2) * (2 * math.sqrt(f_c)) * ((b * h1**2) / 6)) * 10
MzDinf = McrZinf

if MuZinf > MzDinf :

```

```

MZPinf = MuZinf
else :
    MZPinf = MzDinf

CZinf = MZPinf*100000/(0.9*β1*((dZ*100)**2)*100*f_c)

if (4*0.59*CZinf)<1:

    w1Zinf=(1+(1-(4*0.59*CZinf))**0.5)/(2*0.59)
    w2Zinf=(1-(1-(4*0.59*CZinf))**0.5)/(2*0.59)
    wZinf = min(w1Zinf, w2Zinf)

    rou_Z_inf = wZinf*(f_c/f_y)
    AsZreq_inf = rou_Z_inf *100*(dZ*100)
    AsZmin1_inf = (4*AsZreq_inf)/3
    AsZmin2_inf = rou_min*(b*100)*(dZ*100)
    AsZmin_inf = min(AsZmin1_inf,AsZmin2_inf)

    if AsZreq_inf < AsZmin_inf:
        AsZ_inf = AsZmin
    else:
        AsZ_inf = AsZreq_inf

# REVISIÓN POR CORTANTE EN ZAPATA INFERIOR
aZinf = ((AsZ_inf * f_y) / (0.85*f_c*100 )) / 100
dv = dZ - aZinf / 2

X1 = 0.9 * (dZ)
X2 = 0.72 * (h1)
dv_max = max(dv, X1, X2)

Wq4 = (b3 - dv_max) * h1 * γc

```

```

q4h_R1 = (((R1_1e - q3h_R1) * dv_max) / b3) + q3h_R1
Vq4h_R1 = (b3 - dv_max) * ((R1_1e + q4h_R1)/2) - (fi_DC_SLD) * Wq4
q4h_R2 = (((R2_2e - q3h_R2) * dv_max) / b3) + q3h_R2
Vq4h_R2 = (b3 - dv_max) * ((R2_2e + q4h_R2)/2) - (fi_DC_BEa) * Wq4
q4h_R3 = (((R3_3e - q3h_Ev) * dv_max) / b3) + q3h_Ev
Vq4h_R3 = (b3 - dv_max) * ((R3_3e + q4h_R3)/2) - (fi_DC_EV1) * Wq4

```

```

VzDinf = max(abs(Vq4h_R1), abs(Vq4h_R2), abs(Vq4h_R3))

```

```

phiVzDinf = (phiD) * VnZ

```

```

r8=VzDinf/phiVzDinf

```

```

if phiVzDinf > VzDinf:

```

```

    c8="CUMPLE"

```

```

else:

```

```

    c8="NO CUMPLE"

```

```

# Ejemplo de uso para calcular 5 áreas diferentes

```

```

areas = [AsP, AstemP, AsZ, AstemZ, AsZ_inf]

```

```

# CALCULO DE VOLUMNES

```

```

""""CÁLCULO DEL AREA DEL MURO Y VOLUMEN""""

```

```

""""CONCRETO""""

```

```

A_Concreto = ((tw) * (H - h1)) + (B * h1)

```

```

V_Concreto = (A_Concreto) * (b)

```

```

""""RELLENO""""

```

```

A_Relleno = (b3 * h2) + (x * (H - h1))

```

```

V_Relleno = (A_Relleno) * (b)

```

```

""""LONGITUD DE ACEROS""""

```

```

LPP = (tw - 2 * rec_P) + (tw / 2 - 2 * rec_P) + (H - rec_P - 0.3)

```

```

LPPt = (H - rec_P - 0.25) + (tw / 2)

```

```

LZsup = (B - 2 * rec_z) + (((0.6 * h1) - 2 * rec_z) * 2)

```

```

LZt = (B - 2 * rec_z)

```

$LZinf = (B - 2 * rec_z - 0.02) + (((0.6 * h1) - 2 * rec_z) * 2)$

Longitudes = [LPP, LPPt, LZsup, LZt, LZinf]

Peso_Acero = [n * γ acero for n in areas]

Peso_As_Total = [Longitudes[n] * Peso_Acero[n]
for n in range(len(Longitudes))]

Peso_Acero_total = 0

for n in Peso_As_Total:

Peso_Acero_total += n

""""COSTOS""""

Relleno = 7 # Precio por m3

Hormigon = 104 # Precio por m3

Acero = 1.75 # Precio por kg

#CALCULO DEL PRECIO DEL MURO

P_Concreto = V_Concreto * Hormigon

P_Relleno = V_Relleno * Relleno

P_Acero = Peso_Acero_total * Acero

costo_calculado=P_Concreto+P_Relleno+P_Acero

if c1=="CUMPLE" and c2=="CUMPLE" and c3=="CUMPLE" and
c4=="CUMPLE" and c5=="CUMPLE" and c6=="CUMPLE" and c7=="CUMPLE" and c8
=="CUMPLE":

cumple="CUMPLE"

else:

cumple="NO CUMPLE"

else:

costo_calculado=0

cumple="NO CUMPLE"

r8=0

else:

costo_calculado=0

cumple="NO CUMPLE"


```

    r7=0
    r8=0
else:
    costo_calculado=0
    cumple="NO CUMPLE"
    r1_1=0
    r1_2=0
    r2=0
    r3_1=0
    r3_2=0
    r4=0
    r5=0
    r6=0
    r7=0
    r8=0
deman_cap=[r1_1,r1_2,r2,r3_1,r3_2,r4,r5,r6,r7,r8]

```

```

return costo_calculado, cumple,deman_cap

```

```

for suelo in base_de_datos:
    Fa = base_de_datos[suelo]
    # Cálculo del Fpga
    Fpga = float(Fa)
    # Obtener los valores de Qadm según la opción de suelo
    valores_Qadm = base_de_datos_Qadm[suelo]
    # Obtener los valores de resistencia y sismo

    Qadm_resistencia = valores_Qadm["resistencia"]
    Qadm_sismo = valores_Qadm["sismo"]
    Hl = list(range(4, 13))
    resultados_T = []
    resultados_C = []

```

```

resultados_NO_C = []
resultados_demanda_capacidad_cumple=[]
for H in Hl:
    B1 = [(Pb * H) / 100 for Pb in range(50, 166, 5)]
    x1 = [[(Px * B) / 100 for Px in range(0, 91, 5)] for B in B1]
    tw1 = [(Ptw * H) / 100 for Ptw in range(5, 18, 1)]
    h11 = [(Ph1 * H) / 100 for Ph1 in range(5, 18, 1)]

    Final= eficiente_por_altura(H, B1, x1, tw1, h11)

    resultados_T.append(Final[0])

    if not Final[1][6]=="No Valido":
        resultados_C.append(Final[1])
    resultados_NO_C.append(Final[2])
    resultados_demanda_capacidad_cumple.append(Final[3])

    if suelo=="B":
        FINAL_T_B = pd.DataFrame(resultados_T, columns=["Altura", "Base", "x", "tw", "h1",
"Costo", "Cumplimiento"])
        FINAL_C_B = pd.DataFrame(resultados_C, columns=["Altura", "Base", "x", "tw", "h1",
"Costo", "Cumplimiento"])
        FINAL_NC_B = pd.DataFrame(resultados_NO_C, columns=["Altura", "Base", "x", "tw",
"h1", "Costo", "Cumplimiento"])

FINAL_CAPACIDAD_DEMANDA_CUMPLE_B=pd.DataFrame(resultados_demanda_capac
idad_cumple,columns=["Altura", "Base", "x", "tw", "h1",
"r1.1","r1.2","r2","r3.1","r3.2","r4","r5","r6","r7","r8"])
    elif suelo=="D":
        FINAL_T_D = pd.DataFrame(resultados_T, columns=["Altura", "Base", "x", "tw", "h1",
"Costo", "Cumplimiento"])
        FINAL_C_D = pd.DataFrame(resultados_C, columns=["Altura", "Base", "x", "tw", "h1",
"Costo", "Cumplimiento"])
        FINAL_NC_D = pd.DataFrame(resultados_NO_C, columns=["Altura", "Base", "x", "tw",
"h1", "Costo", "Cumplimiento"])

```

```
FINAL_CAPACIDAD_DEMANDA_CUMPLE_D=pd.DataFrame(resultados_demanda_capac
idad_cumple,columns=["Altura", "Base", "x", "tw", "h1",
"r1.1","r1.2","r2","r3.1","r3.2","r4","r5","r6","r7","r8"])
```

else:

```
FINAL_T_E = pd.DataFrame(resultados_T, columns=["Altura", "Base", "x", "tw", "h1",
"Costo", "Cumplimiento"])
```

```
FINAL_C_E = pd.DataFrame(resultados_C, columns=["Altura", "Base", "x", "tw", "h1",
"Costo", "Cumplimiento"])
```

```
FINAL_NC_E = pd.DataFrame(resultados_NO_C, columns=["Altura", "Base", "x", "tw",
"h1", "Costo", "Cumplimiento"])
```

```
FINAL_CAPACIDAD_DEMANDA_CUMPLE_E=pd.DataFrame(resultados_demanda_capac
idad_cumple,columns=["Altura", "Base", "x", "tw", "h1",
"r1.1","r1.2","r2","r3.1","r3.2","r4","r5","r6","r7","r8"])
```

```
RESULTADO_B=pd.DataFrame()
```

```
RESULTADO_B["Altura"]=FINAL_C_B["Altura"]
```

```
RESULTADO_B["Costo"]=round(FINAL_C_B["Costo"],2)
```

```
RESULTADO_B["B/H"]=FINAL_C_B["Base"]/FINAL_C_B["Altura"]
```

```
RESULTADO_B["x/B"]=round(FINAL_C_B["x"]/FINAL_C_B["Base"],2)
```

```
RESULTADO_B["tw/H"]=FINAL_C_B["tw"]/FINAL_C_B["Altura"]
```

```
RESULTADO_B["h1/H"]=FINAL_C_B["h1"]/FINAL_C_B["Altura"]
```

```
RESULTADO_D=pd.DataFrame()
```

```
RESULTADO_D["Altura"]=FINAL_C_D["Altura"]
```

```
RESULTADO_D["Costo"]=round(FINAL_C_D["Costo"],2)
```

```
RESULTADO_D["B/H"]=FINAL_C_D["Base"]/FINAL_C_D["Altura"]
```

```
RESULTADO_D["x/B"]=round(FINAL_C_D["x"]/FINAL_C_D["Base"],2)
```

```
RESULTADO_D["tw/H"]=FINAL_C_D["tw"]/FINAL_C_D["Altura"]
```

```
RESULTADO_D["h1/H"]=FINAL_C_D["h1"]/FINAL_C_D["Altura"]
```

```
RESULTADO_E=pd.DataFrame()
```

```
RESULTADO_E["Altura"]=FINAL_C_E["Altura"]
```

```
RESULTADO_E["Costo"]=round(FINAL_C_E["Costo"],2)
```

```

RESULTADO_E["B/H"]=FINAL_C_E["Base"]/FINAL_C_E["Altura"]
RESULTADO_E["x/B"]=round(FINAL_C_E["x"]/FINAL_C_E["Base"],2)
RESULTADO_E["tw/H"]=FINAL_C_E["tw"]/FINAL_C_E["Altura"]
RESULTADO_E["h1/H"]=FINAL_C_E["h1"]/FINAL_C_E["Altura"]

print(FINAL_C_B)
print(FINAL_C_D)
print(FINAL_C_E)
print(FINAL_CAPACIDAD_DEMANDA_CUMPLE_B)
print(FINAL_CAPACIDAD_DEMANDA_CUMPLE_D)
print(FINAL_CAPACIDAD_DEMANDA_CUMPLE_E)

# Gráfico 1: B/H vs H
plt.figure(figsize=(10, 8))
plt.plot(RESULTADO_B['Altura'], RESULTADO_B['B/H'], color='blue')
plt.scatter( RESULTADO_B['Altura'],RESULTADO_B['B/H'], label='Suelo B', color='blue',
marker='o',s=50)

plt.plot(RESULTADO_D['Altura'], RESULTADO_D['B/H'], color='red')
plt.scatter( RESULTADO_D['Altura'],RESULTADO_D['B/H'], label='Suelo D', color='red',
marker='o',s=50)

plt.plot(RESULTADO_E['Altura'], RESULTADO_E['B/H'], color='darkolivegreen')
plt.scatter( RESULTADO_E['Altura'],RESULTADO_E['B/H'], label='Suelo E',
color='darkolivegreen', marker='o',s=50)

plt.xlabel('Altura')
plt.ylabel('Relación B/H')
plt.title('Gráfico de B/H vs. Altura')
plt.yticks(np.arange(min(min(RESULTADO_B['B/H']),min(RESULTADO_D['B/H']),min(RESULTADO_E['B/H']))- 0.1,
max(max(RESULTADO_B['B/H']),max(RESULTADO_D['B/H']),max(RESULTADO_E['B/H']))+ 0.1, 0.05))
plt.legend()

```

```

plt.show()
# Gráfico 2: x/B vs H
plt.figure(figsize=(10, 8))
plt.plot(RESULTADO_B['Altura'], RESULTADO_B['x/B'], color='blue')
plt.scatter( RESULTADO_B['Altura'],RESULTADO_B['x/B'], label='Suelo B', color='blue',
marker='o',s=50)

plt.plot(RESULTADO_D['Altura'], RESULTADO_D['x/B'], color='red')
plt.scatter( RESULTADO_D['Altura'],RESULTADO_D['x/B'], label='Suelo D', color='red',
marker='o',s=50)

plt.plot(RESULTADO_E['Altura'], RESULTADO_E['x/B'], color='darkolivegreen')
plt.scatter( RESULTADO_E['Altura'],RESULTADO_E['x/B'], label='Suelo E',
color='darkolivegreen', marker='o',s=50)

plt.xlabel('Altura')
plt.ylabel('Relación x/B')
plt.title('Gráfico de x/B vs. Altura')
plt.yticks(np.arange(min(min(RESULTADO_B['x/B']),min(RESULTADO_D['x/B']),min(RES
ULTADO_E['x/B'])) - 0.1,
max(max(RESULTADO_B['x/B']),max(RESULTADO_D['x/B']),max(RESULTADO_E['x/B']
)) + 0.1, 0.05))
plt.legend()
plt.show()
# Gráfico 3: tw/H vs H
plt.figure(figsize=(10, 8))
plt.plot(RESULTADO_B['Altura'], RESULTADO_B['tw/H'], color='blue')
plt.scatter( RESULTADO_B['Altura'],RESULTADO_B['tw/H'], label='Suelo B', color='blue',
marker='o',s=50)

plt.plot(RESULTADO_D['Altura'], RESULTADO_D['tw/H'], color='red')
plt.scatter( RESULTADO_D['Altura'],RESULTADO_D['tw/H'], label='Suelo D', color='red',
marker='o',s=50)

```

```

plt.plot(RESULTADO_E['Altura'], RESULTADO_E['tw/H'], color='darkolivegreen')
plt.scatter( RESULTADO_E['Altura'],RESULTADO_E['tw/H'], label='Suelo E',
color='darkolivegreen', marker='o',s=50)

plt.xlabel('Altura')
plt.ylabel('Relación tw/H')
plt.title('Gráfico de tw/H vs. Altura')

plt.yticks(np.arange(min(min(RESULTADO_B['tw/H']),min(RESULTADO_D['tw/H']),min(R
RESULTADO_E['tw/H'])) - 0.02,
max(max(RESULTADO_B['tw/H']),max(RESULTADO_D['tw/H']),max(RESULTADO_E['t
w/H'])) + 0.02, 0.01))

plt.legend()
plt.show()
# Gráfico 4: h1/H vs H
plt.figure(figsize=(10, 8))
plt.plot(RESULTADO_B['Altura'], RESULTADO_B['h1/H'], color='blue')
plt.scatter( RESULTADO_B['Altura'],RESULTADO_B['h1/H'], label='Suelo B', color='blue',
marker='o',s=50)

plt.plot(RESULTADO_D['Altura'], RESULTADO_D['h1/H'], color='red')
plt.scatter( RESULTADO_D['Altura'],RESULTADO_D['h1/H'], label='Suelo D', color='red',
marker='o',s=50)

plt.plot(RESULTADO_E['Altura'], RESULTADO_E['h1/H'], color='darkolivegreen')
plt.scatter( RESULTADO_E['Altura'],RESULTADO_E['h1/H'], label='Suelo E',
color='darkolivegreen', marker='o',s=50)

plt.xlabel('Altura')
plt.ylabel('Relación h1/H')
plt.title('Gráfico de h1/H vs. Altura')

plt.yticks(np.arange(min(min(RESULTADO_B['h1/H']),min(RESULTADO_D['h1/H']),min(R
RESULTADO_E['h1/H'])) - 0.02,
max(max(RESULTADO_B['h1/H']),max(RESULTADO_D['h1/H']),max(RESULTADO_E['h
1/H'])) + 0.02, 0.01))

plt.legend()

```

```

plt.show()

# Gráfico 5: Costo vs H
plt.figure(figsize=(10, 8))
plt.plot(RESULTADO_B['Altura'], RESULTADO_B['Costo'], color='blue')
plt.scatter( RESULTADO_B['Altura'],RESULTADO_B['Costo'], label='Suelo B', color='blue',
marker='o',s=50)

plt.plot(RESULTADO_D['Altura'], RESULTADO_D['Costo'], color='red')
plt.scatter( RESULTADO_D['Altura'],RESULTADO_D['Costo'], label='Suelo D', color='red',
marker='o',s=50)

plt.plot(RESULTADO_E['Altura'], RESULTADO_E['Costo'], color='darkolivegreen')
plt.scatter( RESULTADO_E['Altura'],RESULTADO_E['Costo'], label='Suelo E',
color='darkolivegreen', marker='o',s=50)
plt.xlabel('Altura')
plt.ylabel('Costo')
plt.title('Gráfico de Costo vs. Altura')

plt.yticks(np.arange(0,
max(max(RESULTADO_B['Costo']),max(RESULTADO_D['Costo']),max(RESULTADO_E['
Costo'])) + 500, 500))
plt.legend()
plt.show()

```

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Anda Romero, Joel Josue**, con C.C: # **0931369243** y **Herrera Veliz, Jordan Jaret** con C.C: # **0924886989** autores del trabajo de titulación: **Evaluación de la eficiencia de muros de contención en función de sus propiedades geométricas**. previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 12 de septiembre de 2023

f. _____
Anda Romero, Joel Josue
C.C: **0931369243**

f. _____
Herrera Veliz, Jordan Jaret
C.C: **0924886989**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Evaluación de la eficiencia de muros de contención en función de sus propiedades geométricas.		
AUTORES	Anda Romero, Joel Josue Herrera Veliz, Jordan Jaret		
REVISOR/TUTOR	Ing. Hernández Barredo, Jaime Francisco, M.Sc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad De Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	12 de septiembre de 2023	No. DE PÁGINAS:	107
ÁREAS TEMÁTICAS:	Geotécnica, Estructuras, Presupuesto		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Muros, Eficiencia, Costos, Relaciones Geométricas, Gráficos, Estabilidad		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	<p>1 presente trabajo se ha enfocado en el análisis de la eficiencia de muros de contención en relación con su geometría. Se ha demostrado que la selección adecuada de parámetros geométricos como la base del muro, la posición de la pantalla, el espesor de la pantalla y la zapata, desempeñan un papel crucial en la estabilidad, resistencia y economía.</p> <p>Se basa en el análisis mediante un código Python, que ha permitido evaluar múltiples combinaciones de variables geométricas y su influencia en la respuesta del muro. Los resultados obtenidos han proporcionado relaciones entre la altura del muro y sus componentes geométricos, considerando diferentes tipos de suelo y sus características específicas.</p> <p>Se ha comprobado que la optimización geométrica no solo contribuye a la seguridad y estabilidad del muro, sino que también puede impactar significativamente en la económica del proyecto. La generación de gráficos y tablas que relacionan las variables geométricas con la altura del muro ofrece a los profesionales una idea para tomar decisiones en la fase de diseño.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 98 943 3897 +593 99 950 6256	E-mail: joelandaromero@gmail.com jordan56.herrera@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Clara Catalina Glas Cevallos		
	Teléfono: +593 98 461 6792		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			