



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**Evaluación de la Eficiencia de Muros de Contención con
Cimentación Superficial en Función de la Capacidad del Suelo.**

AUTORES:

**Plaza Garcés Exer Elian
Villegas Martínez Luis Fernando**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

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

Guayaquil, Ecuador

2 de febrero del 2024



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 **Plaza Garcés Exer Elian y Villegas Martínez Luis Fernando**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniería 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 2 días del mes de febrero del año 2024



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Plaza Garcés Exer Elian y Villegas Martínez Luis Fernando**

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación: **Evaluación de la eficiencia de muros de contención con cimentación superficial en función de la capacidad del suelo**, 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 nuestra total autoría.

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

Guayaquil, a los 2 días del mes de febrero del año 2024

AUTORES

f.  _____

Plaza Garcés Exer Elian

f.  _____

Villegas Martínez Luis Fernando



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

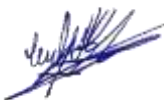
AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Plaza Garcés Exer Elian y Villegas Martínez Luis Fernando**

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 con cimentación superficial en función de la capacidad del suelo**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 2 días del mes de febrero del año 2024

AUTORES

f.  _____

Plaza Garcés Exer Elian

f.  _____

Villegas Martínez Luis Fernando

REPORTE COMPILATIO



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
ingjstz

2024-02-15 TESIS FINAL PLAZA-VILLEGAS

4%
Textos sospechosos

4% Similitudes
= 1% similitudes entre copias
0% entre las fuentes mencionadas
< 1% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: 2024-02-15 TESIS FINAL PLAZA-VILLEGAS.docx
ID del documento: f70d8550a8727a10ed6c82821be96221f8d63b3e
Tamaño del documento original: 4.61 MB

Depositante: Clara Catalina Glas Cervantes
Fecha de depósito: 16/2/2024
Tipo de carga: interface
Fecha de fin de análisis: 16/2/2024

Número de palabras: 25.459
Número de caracteres: 154.271

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.ucsg.edu.ec 12 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (225 palabras)
2	TESIS.docx tesis El documento proviene de mi grupo 7 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: + 1% (176 palabras)
3	repositorio.ucsg.edu.ec 16 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: + 1% (134 palabras)
4	repositorio.ucsg.edu.ec 8 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: + 1% (124 palabras)
5	repositorio.upa.edu.ec 8 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: + 1% (113 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.ug.edu.ec	< 1%		Palabras idénticas: + 1% (22 palabras)
2	investigacion.utmachala.edu.ec	< 1%		Palabras idénticas: + 1% (17 palabras)
3	webdelprofesor.ula.ve	< 1%		Palabras idénticas: + 1% (23 palabras)
4	Documento de otro usuario El documento proviene de otro grupo.	< 1%		Palabras idénticas: + 1% (23 palabras)
5	upa.edu.ec	< 1%		Palabras idénticas: + 1% (22 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://estructurando.net/2015/06/29/tipos-empujes-considerar-una-estructura-contencion/>
- <https://www.byond.eu/blog/muros-contencion/>
- <https://www.geotegia viva.info/wp-content/uploads/2022/01/fundamentos-de-ingenieria-geotecnica-SMD.pdf>
- <https://retainingwallsolutions.co.uk/construction/retaining-wall-safe-excavation-slope/>
- <https://itshen.files.wordpress.com/2015/06/diseño-de-estructuras-de-concreto-härmann.pdf>

f.

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

AGRADECIMIENTO

A mis padres, Alfredo y Tatiana, los cuales me han apoyado desde que tengo memoria, me han dado los valores y las enseñanzas que hoy conforman parte de mi esencia. Les debo todo y agradezco estar vivo aún para poder tenerlos cerca, disfrutar de ustedes y aprender de todo lo que aún tienen por enseñarme.

A mis hermanos, Dara y Hanner, los cuales han estado siempre conmigo y han sido una inspiración para mí a lo largo de toda mi vida, me da gusto verlos crecer y crecer junto a ustedes.

A mis tíos, tías y familiares, siempre me han dado un apoyo indiscutible y me han enseñado el verdadero valor de la familia y todo lo bueno que eso conlleva, gracias a todos.

A mi compañero de tesis, Luis, el cual me ha apoyado durante toda la carrera y ha sido un pilar fundamental durante la misma. Ha sido una larga travesía hermano y me siento muy afortunado de haber tenido la oportunidad de compartirla contigo.

A los amigos que me ha dado la universidad, conocidos como los “Timoshenkos” Santiago, Meylyn, Roddy, Meiby, Glenn, Iván, Raúl, Toro, Juan José. Probablemente son lo mejor de ir a la universidad, hicieron que todo se sintiera como una gran aventura.

A mi tutor de tesis, el Ing. Jaime, gracias por guiarnos y tenernos paciencia en este último peldaño, su perseverancia y ambición académica me motiva a mejorar siempre.

A mis amigos Ethan, Jorge (Tartaruga), Nicolás, Guillermo, gracias por ser como una segunda familia para mí, los admiro mucho, he aprendido tanto de cada uno de ustedes y espero poder seguir cosechando nuevas anécdotas y logros juntos. Sé que cumpliremos el objetivo del “club de los 32”.

A mi mejor amiga Doménica, la cual siempre ha sido un apoyo infaltable a lo largo del tiempo.

A Luis, Santiago y a Franchesca nuevamente, estuvieron desde el principio y me alegra que, de algún modo, estén en el final también.

A todas las personas que conocí y fueron parte de mi vida a lo largo de todos estos años, a mis amigos del gym, a los amigos que hice en el pre, a mis profesores y a mis retractores. He aprendido algo de cada uno de ustedes.

Y a ti, que lees esto, gracias por tomarte el tiempo de hacerlo.

Exer Elian Plaza Garces

DEDICATORIA

A mis padres, que siempre se han preocupado para nunca me falte nada, para que siga adelante sin tantos problemas, para que viva una vida que tal vez ellos no pudieron, para verme feliz, para verme triunfar. Prometo no defraudarlos.

A mis hermanos por la motivación que me dan.

A mí, por no haberme rendido jamás.

Exer Elian Plaza Garces

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por haberme dado la sabiduría, conocimiento y salud para culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres, Raúl y Lida por siempre apoyarme y alentarme a lo largo de este viaje académico. Su amor y aliento fueron mi mayor fortaleza.

A mis hermanas, Marcela y Consuelo, aunque no compartimos mucho tiempo juntos, valoro cada momento en el que lograron hacerme desconectar de las exigencias universitarias.

A mis abuelos, Hugo y Elva, quienes me criaron los primeros años de mi vida, sin duda, la persona en la que me he convertido hoy es gracias a los valores que inculcaron en mí.

A mi abuela Marcela, quien me cuida desde el cielo, se que estaría orgullosa por este logro.

A mi novia, Fiorella, agradezco su paciencia en estos meses en los que no pudimos vernos con frecuencia. Además, agradezco las veces en las que creíste en mí, incluso cuando yo no pude, eres la persona que más sabe cuánto tiempo y empeño le he dedicado a la carrera.

A mis compañeros y futuros colegas, Santiago, Elian, Toro, Meylyn, Glenn, Raúl, Iván, Roddy, Franchesca, Elizabeth y Juan José, por esas noches e incluso semanas de arduo estudio, seguramente la carrera no hubiera sido lo mismo sin ustedes.

A mi tutor, el Ing. Jaime Hernández, por depositar la confianza en mí para realizar este trabajo. También agradezco la oportunidad de ser parte de su empresa como pasante, y las enseñanzas adquiridas permanecerán siempre conmigo.

Luis Fernando Villegas Martínez

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi padre, por ser un ejemplo de excelencia académica y profesional. Sus consejos y enseñanzas no solo han dejado huella en mi carácter, sino que también han sido pilares fundamentales en la construcción del profesional en el que me he convertido.

A mi querida madre, quien ha estado a mi lado en mis momentos más difíciles, demostrando una inquebrantable fortaleza y brindándome su apoyo constante. A pesar de todo, su presencia ha sido mi mayor consuelo y confianza.

A mis abuelos, tanto paternos como maternos, por su contribución para convertirme en el profesional que soy hoy en día. Este logro es un homenaje a ellos.

A mi novia, por su constante fe en mí, incluso en los momentos en que yo mismo dudaba.

Luis Fernando Villegas Martínez



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Federico Von Buchwald de Janon, Ph.D.

DECANO

f. _____

Ing. Guillermo Ponce, MSc.

DOCENTE DELEGADO

JOSE ANDRES
BARROS
CABEZAS

Firmado digitalmente por JOSE ANDRES BARROS
CABEZAS
DN: C=EC, O=SECURITY DATA S.A. I, OU=ENTIDAD
DE CERTIFICACION DE INFORMACION,
SERIALNUMBER=030820191013, CN=JOSE ANDRES
BARROS CABEZAS
Barros: He revisado este documento
Ubicación:
Fecha: 2024.02.14 07:03:12-05'00"
Foxit PDF Reader Versión: 2023.3.0

f. _____

Ing. José Barros Cabezas, Ph.D.

OPONENTE

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO 1: Introducción	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Objetivo General	2
1.3 Objetivos Específicos	2
1.4 Alcance	3
CAPITULO II: Marco Teórico	4
2.1 Generalidades de los muros de contención	4
2.1.1 Elementos de un muro de contención.....	6
2.1.2 Dimensionamiento de un muro de contención	8
2.2 Características físicas y mecánicas de los suelos	10
2.2.1 Peso específico	10
2.2.2 Ángulo de fricción interna.....	10
2.2.3 Cohesión.....	11
2.3 Capacidad de carga del suelo	11
2.4 Tipos de suelos	11
2.5 Teorías del empuje del suelo	13
2.5.1 Teoría de Coulomb	13
2.5.2 Teoría de Mononobe-Okabe	14
2.6 Cargas actuantes en un muro de contención.....	14
2.6.1 Empuje activo	16

2.6.2	Empuje pasivo	18
2.6.3	Empuje por efecto sísmico	19
2.7	Diseño de muros de contención.....	23
2.7.1	Estados límites.....	23
2.7.2	Combinaciones de carga.....	23
2.7.3	Factores de carga	24
2.7.4	Análisis de estabilidad.....	25
2.7.5	Diseño a flexión.....	29
2.7.6	Diseño a corte.....	35
CAPITULO III: Metodología		38
3.1	Problemática de estudio.....	38
3.2	Variables de análisis	39
3.3	Datos considerados.....	42
3.3.1	Propiedades del suelo	42
3.3.2	Propiedades de los materiales.....	45
3.3.3	Parámetros de diseño estructural	45
3.4	Procedimiento para el diseño de muros en voladizo	46
3.5	Costos referenciales.....	50
3.6	Descripción del código	50
CAPITULO IV: Resultados.....		52
4.1	Relaciones geométricas eficientes	52
4.2	Costos y porcentajes	53

4.3	Relación demanda capacidad	55
CAPITULO V: Interpretación de resultados.....		57
5.1	Análisis comparativo de resultados	57
5.1.1	Costos de soluciones eficientes para diferentes tipos de suelo... 57	
5.1.2	Relación Base/Altura(B/H)	58
5.1.3	Relación Posición de pantalla/Base (x/B)	61
5.1.4	Relación Espesor de pantalla/Altura (tw/H).....	63
5.1.5	Relación Espesor de base/Altura (h1/H)	66
5.2	Análisis de costos	68
5.2.1	Porcentaje de costo por material.....	70
5.3	Análisis de relación Demanda/Capacidad	73
5.4	Rango de relaciones geométricas eficientes	76
Conclusiones		78
Recomendaciones		79
Referencias.....		81
ANEXOS 01		84
ANEXOS 02		100
ANEXOS 03		125
ANEXOS 04		141
ANEXOS 05		144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Tipos de muros de contención	5
Figura 2	Elementos de un muro de contención en voladizo	7
Figura 3	Dimensionamiento de un muro en voladizo	8
Figura 4	Vista de la nomenclatura utilizada por Anda y Herrera.....	9
Figura 5	Cargas típicas de un muro de contención o estribo de puente.....	15
Figura 6	Empuje activo + Incremento dinámico del empuje activo	16
Figura 7	Ángulos que intervienen en un muro de contención	18
Figura 8	Mecanismo de falla de muros de contención.....	25
Figura 9	Criterios para el diseño de un muro en voladizo	29
Figura 10	Cargas que actúan sobre la pantalla, punta y talón.....	30
Figura 11	Pantalla - Cara en contacto con el relleno activo.....	32
Figura 12	Cimentación - Punta y Talón	32
Figura 13	Pantalla - Cara opuesta al relleno pasivo y cara perpendicular al acero principal	34
Figura 14	Cimentación - Cara perpendicular al refuerzo principal	34
Figura 15	Sección crítica para cortante en cimentaciones	36
Figura 16	Relación B/H de los diferentes tipos de suelos.....	38
Figura 17	40
Figura 18	Ángulos de excavación para cada tipo de suelo	44
Figura 19	Ángulos de excavación recomendados.....	44
Figura 20	Cargas consideradas en el análisis y diseño de los muros.....	46
Figura 21	Clasificación del acero en el diseño a flexión	48
Figura 22	Secciones críticas en el diseño a corte de muros en voladizo	49
Figura 23	Relación Base/Altura (B/H) para suelo tipo B	53

Figura 24 Costos de muros para suelo tipo B con una capacidad de carga de 35 Ton/m ²	55
Figura 25 Estados límites que controlan el diseño de muros en voladizo para suelo tipo B.....	56
Figura 26 Relación Altura (H) vs Costo (\$) para un suelo tipo A y D	58
Figura 27 Relación Base/Altura (B/H) para suelo tipo B	59
Figura 28 Relación Base/Altura (B/H) para suelo tipo D	60
Figura 29 Relación Posición de pantalla/Base (x/B) para suelo tipo B	61
Figura 30 Relación Posición de pantalla/Base (x/B) para suelo tipo D	63
Figura 31 Relación Espesor de pantalla/Altura (tw/H) para suelo tipo B.....	64
Figura 32 Relación Espesor de pantalla/Altura (tw/H) para suelo tipo D	65
Figura 33 Relación Espesor de base/Altura (h1/H) para suelo tipo B	66
Figura 34 Relación Espesor de base/Altura (h1/B) para suelo tipo D	68
Figura 35 Rango de capacidades de carga para cada tipo de suelo.....	69
Figura 36 Relación Altura vs Costos para todos los tipos de suelos (A, B, C, D y E)	70
Figura 37 Porcentaje de precio por material para suelo tipo B.....	71
Figura 38 Porcentaje de precio por material para suelo tipo D.....	72
Figura 39 Fallas que controlan el diseño de muros en voladizo de 4 a 12 metros de altura para suelo tipo B.....	74
Figura 40 Fallas que controlan el diseño de muros en voladizo de 4 a 12 metros de altura para suelo tipo D.....	75
Figura 41 Relación Base/Altura (B/H) para suelo tipo A	93
Figura 42 Relación Posición de pantalla/Base (x/B) para suelo tipo A	94
Figura 43 Relación Espesor de pantalla/Altura (tw/H) para suelo tipo A....	95

Figura 44	Relación Espesor de base/Altura (h_1/H) para suelo tipo A	95
Figura 45	Relación Base/Altura (B/H) para suelo tipo C	96
Figura 46	Relación Posición de pantalla/Base (x/B) para suelo tipo C	96
Figura 47	Relación Espesor de pantalla/Altura (tw/H) para suelo tipo C....	97
Figura 48	Relación Espesor de base/Altura (h_1/H) para suelo tipo C	97
Figura 49	Relación Base/Altura (B/H) para suelo tipo C	98
Figura 50	Relación Posición de pantalla/Base (x/B) para suelo tipo E	98
Figura 51	Relación Espesor de pantalla/Altura (tw/H) para suelo tipo E....	99
Figura 52	Relación Espesor de base/Altura (h_1/H) para suelo tipo E	99
Figura 53	Relación Altura (H) vs Costo (\$) para un suelo tipo A.....	100
Figura 53	Relación Altura (H) vs Costo (\$) para un suelo tipo B.....	100
Figura 55	Relación Altura (H) vs Costo (\$) para un suelo tipo C.....	101
Figura 56	Relación Altura (H) vs Costo (\$) para un suelo tipo D	101
Figura 57	Relación Altura (H) vs Costo (\$) para un suelo tipo E.....	102
Figura 58	Costos de muros para suelo tipo A con una capacidad de carga de 60-80 Ton/m ²	112
Figura 59	Costos de muros para suelo tipo B con una capacidad de carga de 40 Ton/m ²	112
Figura 60	Costos de muros para suelo tipo B con una capacidad de carga de 45 Ton/m ²	113
Figura 61	Costos de muros para suelo tipo B con una capacidad de carga de 50 Ton/m ²	113
Figura 62	Costos de muros para suelo tipo B con una capacidad de carga de 55 Ton/m ²	114

Figura 63 Costos de muros para suelo tipo B con una capacidad de carga de 60 Ton/m ²	114
Figura 64 Costos de muros para suelo tipo C con una capacidad de carga de 25 Ton/m ²	115
Figura 65 Costos de muros para suelo tipo C con una capacidad de carga de 28 Ton/m ²	115
Figura 66 Costos de muros para suelo tipo C con una capacidad de carga de 31 Ton/m ²	116
Figura 67 Costos de muros para suelo tipo C con una capacidad de carga de 34 Ton/m ²	116
Figura 68 Costos de muros para suelo tipo C con una capacidad de carga de 37 Ton/m ²	117
Figura 69 Costos de muros para suelo tipo C con una capacidad de carga de 40 Ton/m ²	117
Figura 70 Costos de muros para suelo tipo D con una capacidad de carga de 12 Ton/m ²	118
Figura 71 Costos de muros para suelo tipo D con una capacidad de carga de 15 Ton/m ²	118
Figura 72 Costos de muros para suelo tipo D con una capacidad de carga de 18 Ton/m ²	119
Figura 73 Costos de muros para suelo tipo D con una capacidad de carga de 21 Ton/m ²	119
Figura 74 Costos de muros para suelo tipo D con una capacidad de carga de 24 Ton/m ²	120

Figura 75 Costos de muros para suelo tipo D con una capacidad de carga de 27 Ton/m ²	120
Figura 76 Costos de muros para suelo tipo D con una capacidad de carga de 30 Ton/m ²	121
Figura 77 Costos de muros para suelo tipo E con una capacidad de carga de 10 Ton/m ²	121
Figura 78 Costos de muros para suelo tipo E con una capacidad de carga de 11 Ton/m ²	122
Figura 79 Costos de muros para suelo tipo E con una capacidad de carga de 12 Ton/m ²	122
Figura 80 Costos de muros para suelo tipo E con una capacidad de carga de 13 Ton/m ²	123
Figura 81 Costos de muros para suelo tipo E con una capacidad de carga de 14 Ton/m ²	123
Figura 82 Costos de muros para suelo tipo E con una capacidad de carga de 15 Ton/m ²	124
Figura 83 Fallas que controlan el diseño de muros en voladizo de 4 a 12 metros de altura para suelo tipo A.....	139
Figura 84 Fallas que controlan el diseño de muros en voladizo de 4 a 12 metros de altura para suelo tipo C.....	139
Figura 85 Fallas que controlan el diseño de muros en voladizo de 4 a 12 metros de altura para suelo tipo E.....	140
Figura 86 APU de hormigón armado de resistencia $f'c$ 350 kg/cm ² proporcionado por el Ingeniero Genaro Huilacarema.....	141

Figura 86 APU de acero de refuerzo Grado 60 fluencia f_y 4200 kg/cm² proporcionado por el Arquitecto Raúl Villegas 142

Figura 86 APU de acero de refuerzo Grado 60 fluencia f_y 4200 kg/cm² proporcionado por Etinar..... 143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Dimensiones óptimas de muros en voladizo	9
Tabla 2 Tipos de suelos de Ecuador	12
Tabla 3 Valores de Fa	21
Tabla 4 Combinaciones de carga.....	24
Tabla 5 Factores de carga para cada estado límite	25
Tabla 6 Límites de dimensionamiento para el diseño de los muros de contención	40
Tabla 7 Valores de Fa e intervalos de capacidad de carga para cada tipo de suelo	41
Tabla 8 Propiedades del suelo consideradas en el diseño y análisis de los muros.....	43
Tabla 9 Propiedades del hormigón y acero de refuerzo	45
Tabla 10 Revisiones de estabilidad para cada estado límite de Resistencia y Evento Extremo.....	47
Tabla 11 Rubros de un muro de contención en voladizo.....	50
Tabla 12 Relaciones geométricas eficientes y costo aproximados para suelo tipo B.....	52
Tabla 13 Costos de muros para suelo tipo B con una capacidad de carga de 35 Ton/m ²	54
Tabla 14 Relaciones geométricas eficientes para distintos tipos de suelos con capacidades portantes variables.....	76
Tabla 15 Relaciones geométricas eficientes para suelo Tipo A.....	84
Tabla 16 Relaciones geométricas eficientes para suelo Tipo B.....	86
Tabla 17 Relaciones geométricas eficientes para suelo Tipo C.....	88

Tabla 18	Relaciones geométricas eficientes para suelo Tipo D	90
Tabla 19	Relaciones geométricas eficientes para suelo Tipo E.....	92
Tabla 20	Ecuaciones para determinar las relaciones geométricas eficientes para cada tipo de suelo	93
Tabla 21	Costos de muros para suelo tipo A variando la capacidad de carga del suelo.....	103
Tabla 22	Costos de muros para suelo tipo B variando la capacidad de carga del suelo.....	105
Tabla 23	Costos de muros para suelo tipo C variando la capacidad de carga del suelo.....	107
Tabla 24	Costos de muros para suelo tipo D variando la capacidad de carga del suelo.....	109
Tabla 25	Costos de muros para suelo tipo E variando la capacidad de carga del suelo.....	111
Tabla 26	Relación Demanda/Capacidad para suelo tipo A variando la capacidad de carga del suelo	125
Tabla 27	Relación Demanda/Capacidad para suelo tipo B variando la capacidad de carga del suelo	128
Tabla 28	Relación Demanda/Capacidad para suelo tipo C variando la capacidad de carga del suelo	131
Tabla 29	Relación Demanda/Capacidad para suelo tipo D variando la capacidad de carga del suelo	134
Tabla 30	Relación Demanda/Capacidad para suelo tipo E variando la capacidad de carga del suelo	137

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se realiza un análisis paramétrico para determinar las relaciones geométricas eficientes de muros en contención en voladizo con cimentación superficial con alturas de 4 a 12 metros para distintos tipos de suelos variando su capacidad portante.

El diseño y revisiones de estabilidad de los muros de contención se realizó empleando la normativa AASHTO LRFD 2017. Además, se desarrolló un código en Python el cual tiene la función de realizar las iteraciones variando las propiedades geométricas (dimensiones) del muro y determinar la solución más eficiente para una altura de muro determinada en función de las propiedades de suelo (tipo y capacidad de carga) establecidas. Los costos aproximados de los muros están en función de precios asumidos (Hormigón, Acero y Relleno).

Este enfoque contribuye a alcanzar una solución óptima de manera rápida para muros en voladizos cimentados en cualquier tipo de suelo (A, B, C, D o E), favoreciendo un diseño más eficiente en el ámbito de la ingeniería civil, sin comprometer la integridad estructural.

***Palabras claves:** Muros, Relaciones Geométricas, Eficiente, Costo, Suelos, Capacidad de Carga, Capacidad Portante, Estados Límites*

ABSTRACT

In this degree work, a parametric analysis is performed to determine the efficient geometric relationships of cantilever retaining walls with shallow foundations with heights from 4 to 12 meters for different types of soils varying their bearing capacity.

The design and stability reviews of the retaining walls were performed using the AASHTO LRFD 2017 standard. In addition, a Python code was developed which has the function of performing iterations by varying the geometric properties (dimensions) of the wall and determining the most efficient solution for a given wall height based on the soil properties (type and bearing capacity) established. The approximate costs of the walls are a function of assumed prices (Concrete, Steel and Backfill).

This approach contributes to reach an optimal solution quickly for cantilever walls founded on any type of soil (A, B, C, D or E), favoring a more efficient design in the field of civil engineering, without compromising the structural integrity.

Keywords: *Walls, Geometric Relations, Efficient, Cost, Soils, Load Bearing Capacity, Bearing Capacity, Limit States.*

CAPITULO 1: Introducción

1.1 Antecedentes

Las relaciones geométricas son fundamentales en el diseño de muros de contención en voladizo, ya que influyen directamente en la estabilidad, eficiencia estructural y costo de estas estructuras. Un diseño geométrico eficiente permite utilizar la cantidad óptima de materiales de construcción, reduciendo así costos innecesarios.

En el trabajo de titulación “Evaluación de la eficiencia de muros de contención en función de sus propiedades geométricas” (Anda y Herrera, 2023) se observó que las dimensiones geométricas eficientes para muros de contención con cimentación superficial son sensibles a la capacidad portante de suelo definida en el análisis. Adicionalmente, Anda y Herrera (2023) recomendaron considerar ciertas modificaciones a su análisis como la definición de los precios unitarios de los rubros, el cálculo del volumen de relleno sobre el talón, incluir otros tipos de suelo, etc, para obtener mejores resultados y tener una mejor visión de la problemática.

1.2 Objetivo General

Obtener las relaciones geométricas eficientes de muros de contención en voladizo con cimentación superficial, mediante un análisis paramétrico variando la capacidad de carga del suelo y la altura del muro, mediante el desarrollo de un código en Python para facilitar el proceso de diseño o prediseño de los muros de contención.

1.3 Objetivos Específicos

Determinar las relaciones geométricas eficientes de muros de contención para varias capacidades de carga de suelo.

Determinar los costos aproximados de muros de contención para varias capacidades del suelo.

Estudiar la dependencia de los resultados en función de la variación de la capacidad del suelo y tipo de suelo en estudio.

1.4 Alcance

Se presentarán relaciones geométricas de muros que brinden soluciones más eficientes (en costos) en función del tipo y capacidad portante del suelo, mediante el desarrollo de un código de Python que realiza el análisis y diseño de muros de contención para distintos tipos de suelo. El código calcula las dimensiones óptimas de los muros según los parámetros de diseño y las propiedades del suelo establecidas. De esa manera, se obtienen relaciones geométricas que optimizan los costos de construcción de los muros en función de la capacidad portante del suelo. Además, el código también determina los estados límites que controlan el diseño de los muros de contención, considerando alturas desde 4 hasta 12 metros y variando la capacidad de carga del suelo.

CAPITULO II: Marco Teórico

2.1 Generalidades de los muros de contención

Los muros de contención son estructuras encargadas de retener y estabilizar terrenos u otro material en desnivel, con el propósito de evitar que alcancen su ángulo de reposo natural. Suelen ser usados en cambios abruptos de pendiente, cortes y rellenos en carreteras y ferrocarriles, alcantarillas, muros de sótanos, estribos de puentes, etc. (Harmsen, 2002, pág. 361)

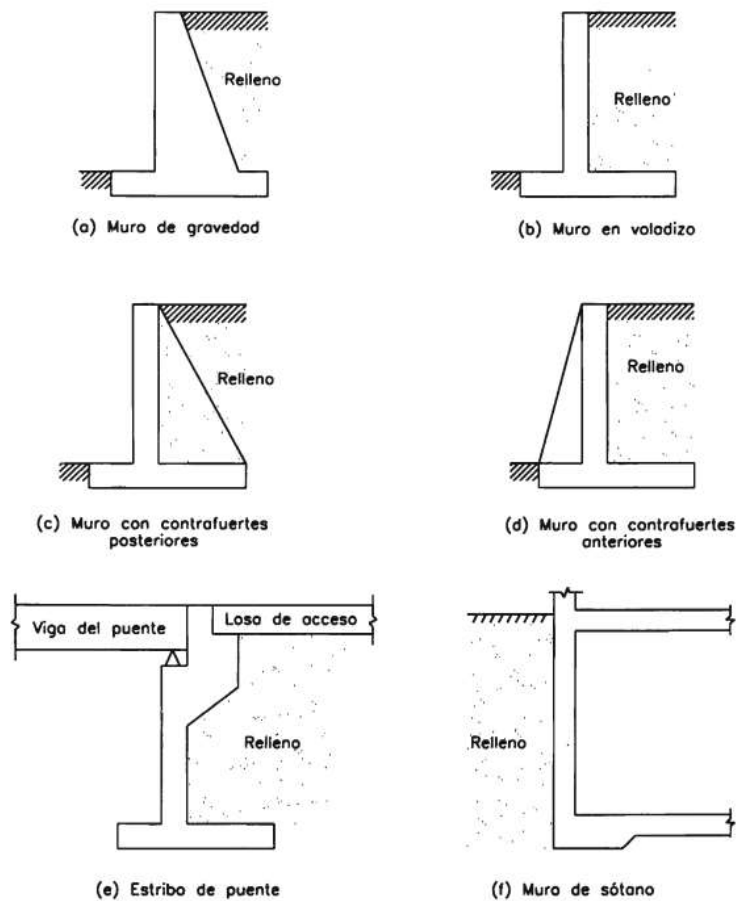
La selección de materiales para la construcción de estos elementos estructurales requiere un proceso meticuloso y cuidadoso, dependiendo de su ubicación, presupuesto y tipo de muro, pero por lo general, los materiales más usados son hormigón, piedra, ladrillo y madera. (Byond Canarias, 2013)

Los muros de contención pueden ser de varios tipos:

- a) Muros de gravedad
- b) Muros en voladizo
- c) Muros con contrafuertes posteriores
- d) Muros con contrafuertes anteriores
- e) Estribos de puente
- f) Muros de sótano

Figura 1

Tipos de muros de contención



Nota. Adaptado de *Diseño de estructuras de concreto armado* (p.362), por Harmsen, T. E., 2002, Pontificia Universidad Católica del Perú.

- Muros de gravedad: Son construidos con hormigón simple o mampostería de piedra, la estabilidad de estos muros depende de su peso propio. No es económico para muros de gran altura. (Das, 2015, pág. 418)
- Muros en voladizo: Son construidos con hormigón armado, se utilizan para alturas de hasta 8 m. La estabilidad del muro se consigue con el peso propio de la estructura y el peso del relleno. (Harmsen, 2002, pág. 361)

- Muros con contrafuertes: Son similares a los muros en voladizo, la diferencia es que a intervalos regulares tienen delgadas losas de concreto inclinadas denominadas contrafuerte. Su función es reducir los esfuerzos cortantes y momentos flectores. (Das, 2015, pág. 419)
- Estribos de puentes: Muros que sirven de apoyo en los extremos del puente, aparte de soportar el empuje lateral del suelo, resiste las cargas provenientes de la superestructura. (Ballón & Echenique, 2017, pág. 18)
- Muros de sótano: Su función es resistir el empuje provocado por el relleno y la carga vertical ejercida por el edificio, debido a la distribución triangular de las presiones, los muros de los pisos inferiores soportan más carga que los muros de los pisos superiores. (Ballón & Echenique, 2017, pág. 18)

2.1.1 Elementos de un muro de contención

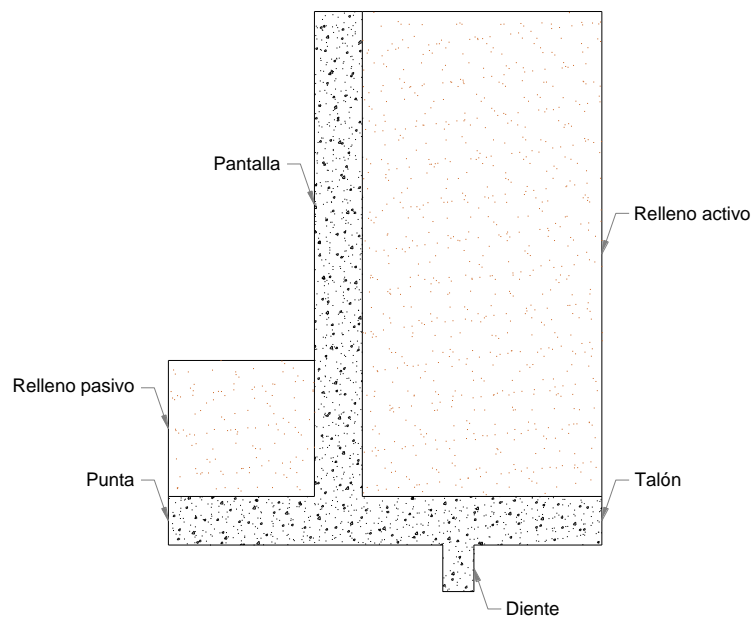
Debido al caso de estudio evaluado en este trabajo, en la siguiente figura solo se muestra los elementos que forman parte en un muro de contención en voladizo. Un muro de contención típico está compuesto por los siguientes elementos:

- Pantalla: Es el miembro vertical del muro encargada de resistir los empujes estáticos y dinámicos del suelo. Puede ser de sección variable.
- Cimentación: Es el elemento encargado de transmitir las fuerzas del muro al suelo, puede ser una cimentación superficial (zapata) o profunda (pilotes) dependiendo de la calidad del suelo.
- Punta: Parte de la cimentación encargada de resistir principalmente los esfuerzos de contacto del suelo, se coloca en sentido opuesto al relleno activo.

- Talón: Parte de la cimentación encargada de resistir principalmente el empuje vertical del relleno activo y su propio peso, se extiende por debajo del material a retener. Dependiendo del diseño, puede o no formar parte del muro.
- Diente: Es una extensión estructural colocada en la cimentación, se encarga de proporcionar resistencia adicional al deslizamiento en caso de ser necesario. Dependiendo del diseño, puede o no formar parte del muro.
- Relleno activo y pasivo: El relleno activo es el suelo que está situado detrás del muro de contención, tiende a aplicar presión sobre la estructura del muro. El relleno pasivo es el suelo que se encuentra delante del muro de contención, proporciona estabilidad al muro.

Figura 2

Elementos de un muro de contención en voladizo



Nota. El gráfico representa las partes por las que está compuesto un muro de contención en voladizo con cimentación superficial.

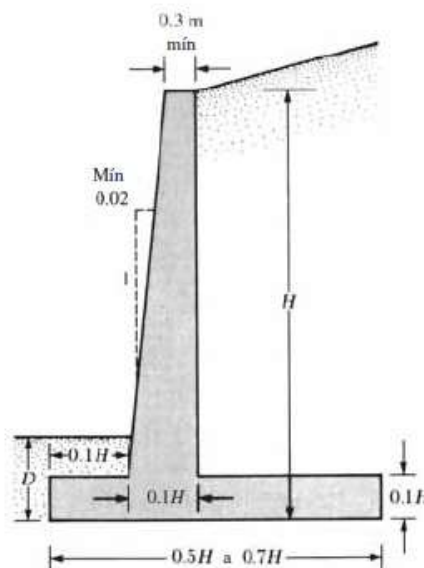
2.1.2 Dimensionamiento de un muro de contención

Al inicio de la etapa de diseño de un muro de contención, los ingenieros deben asumir algunas de las dimensiones del muro, a este proceso se lo denomina predimensionamiento, posterior a esto se realiza los chequeos de estabilidad para comprobar que las dimensiones escogidas sean las correctas, en caso de no cumplir las revisiones de estabilidad, se cambian las dimensiones hasta llegar a las adecuadas. (Das, 2015, pág. 420)

Braja M. Das (2015) en su libro de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica presenta los rangos de dimensiones de un muro de contención en voladizo. Propone que la parte superior de la pantalla no debe tener un espesor menor a 30 cm y que la profundidad “D”, para la parte inferior de la cimentación debe de ser como mínimo 60 cm.

Figura 3

Dimensionamiento de un muro en voladizo



Nota. Adaptado de *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (p.420), por Das, 2015.

Según Anda y Herrera (2023) las dimensiones óptimas de muros de contención en voladizo están en función de la capacidad portante del suelo, a diferencia de otros autores, Anda y Herrera presentan dimensionamientos para suelos rocosos y blandos.

Tabla 1

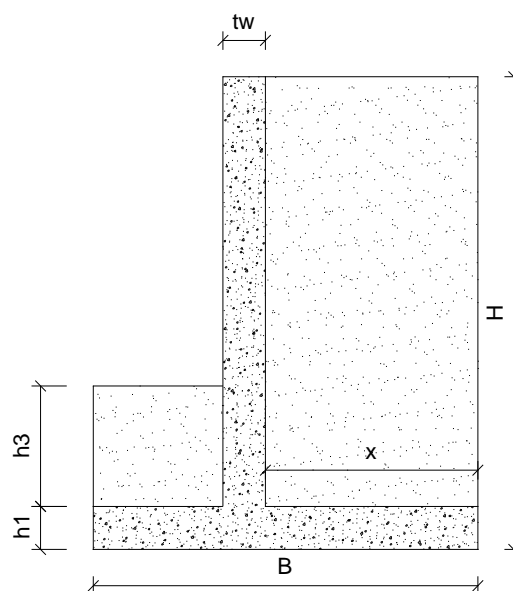
Dimensiones óptimas de muros en voladizo

<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. Adaptado de *Evaluación de la Eficiencia de Muros de Contención en Función de sus Propiedades Geométricas* (p.76), por Anda y Herrera, 2023, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Figura 4

Vista de la nomenclatura utilizada por Anda y Herrera



Nota. La altura de relleno pasivo $h3$ es el 15% de la altura H .

2.2 Características físicas y mecánicas de los suelos

El suelo es una combinación de materiales, sólidos, líquidos y gaseosos, cuyas propiedades mecánicas permiten llegar a un diseño en la etapa de estudio de una obra civil. En esta etapa, se consideran estados límites de fallas (estabilidad de la estructura), estados límites de servicio (asentamientos totales y diferenciales) y el flujo de agua a través de los suelos. (Rodríguez J. , 2021, pág. 4)

“El empuje del suelo o la presión ejercida por el relleno en los muros de contención, es una carga que depende de las siguientes características de los suelos; peso específico, ángulo de fricción interna y la cohesión” (Ballón & Echenique, 2017, pág. 22).

2.2.1 *Peso específico*

Es un parámetro importante en el diseño de muros de contención, ya que de su valor y de la altura del muro depende la magnitud del empuje horizontal del suelo. El peso específico es una relación que está en función del peso y volumen del suelo, dependiendo de las necesidades en la etapa de diseño se puede usar el peso específico natural, seco o saturado. (Ballón & Echenique, 2017, pág. 23)

2.2.2 *Ángulo de fricción interna*

Es una propiedad del suelo generada por la resistencia al deslizamiento causada por la fricción que existe entre las superficies que se encuentran en contacto entre las partículas y su densidad. Los suelos granulares, como las gravas y arenas tienen una alta fricción interna, debido a su gran superficie de contacto y buena capacidad aglutinante. (De la Cruz & Silva, 2022, pág. 20)

2.2.3 Cohesión

La cohesión es una fuerza interna de adherencia que actúa entre las partículas del suelo, se usa para representar la resistencia al corte causado por la cementación. En caso de suelos granulares donde no haya adherencia, la cohesión puede valer cero, mientras que, en suelos finos como los limos y arcillas el valor de la cohesión puede ser considerable. (Rodríguez J. , 2021, pág. 12)

2.3 Capacidad de carga del suelo

La teoría de la capacidad portante determina la carga última que pueden resistir los suelos antes de colapsar, es decir, es el máximo esfuerzo de contacto entre una cimentación superficial y el suelo para que así no se produzca una falla por corte o asentamiento en el estrato del mismo. (Aguay & Dranichnikov, 2012, pág. 15)

2.4 Tipos de suelos

La NEC (2015) define 6 tipos de suelo, los cuales se dividen en 2 grupos: suelos rocosos y blandos.

Los perfiles van desde el tipo A (suelo rocoso y firme) hasta el tipo F (suelo blando e inestable). Los parámetros que se utilizan en la categorización de estos son los correspondientes a los 30 m de profundidad para los perfiles tipo A, B, C, D y E. Aquellos perfiles que tengan estratos claramente diferenciables deben subdividirse, asignándoles un subíndice i que va desde 1 para la superficie hasta n en la parte inferior de los 30 m del perfil. (NEC , 2015)

A continuación, se detallan los distintos tipos de suelos presentes en Ecuador:

Tabla 2

Tipos de suelos de Ecuador

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s $> V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ 100 kPa $> S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1	Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispensivos o débilmente cementados, etc.
	F2	Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).
	F3	Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)
	F4	Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30 m)
	F5	Suelos con contrastes de impedancia u ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.
F6	Reellenos colocados sin control ingenieril.	

Nota. Clasificación de los estratos del suelo en función de la velocidad de onda cortante promedio del suelo (V_s), número promedio de golpes del ensayo SPT (N), resistencia al corte no drenado (S_u) y el contenido de agua (W). Adaptado de *de Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente* (p.30), por Norma Ecuatoriana de la construcción [NEC], 2015.

2.5 Teorías del empuje del suelo

“La estimación del empuje es un parámetro complejo de determinar, razón por la que en la mecánica de suelo existen varias teorías para su determinación, cada una con sus respectivas limitantes” (Harmsen, 2002, pág. 363).

Algunas de las teorías usadas para determinar el empuje del suelo son; la teoría de Coulomb, Terzaghi, Rankine y Mononobe–Okabe, esta última se utiliza al considerar las fuerzas de acción sísmica en el diseño del muro. En este trabajo solo se presentan las teorías de Coulomb y Mononobe–Okabe.

2.5.1 Teoría de Coulomb

La teoría de Coulomb (1776) sobre el empuje del suelo, se basa en las siguientes hipótesis:

- El suelo se describe como una masa isotrópica y homogénea, en la que existe fricción interna y cohesión.
- Se supone que la superficie de falla es plana, aunque no sea del todo cierto.
- Las fuerzas de fricción se distribuyen de manera uniforme a lo largo del plano de fallo.
- La cuña de falla se comporta como cuerpo rígido.
- Se genera un ángulo de fricción entre el relleno y el muro, debido a que la cuña de falla se mueve a lo largo de la pared interna del muro.
- La falla es un problema de deformación plana, se supone que el muro tiene una longitud infinita. (Lucero, Pachacama, & Rodríguez, 2012, pág. 24)

2.5.2 Teoría de Mononobe-Okabe

La teoría propuesta por Okabe en 1926 y modificada por Mononobe y Matsuo en 1929, se basa en las siguientes hipótesis:

- El suelo es homogéneo y friccionante.
- No existe presión poros.
- La cuña de falla se comporta como cuerpo rígido.
- La cuña del suelo que define la superficie de falla es plana y pasa por el talón del muro.
- Los desplazamientos de la corona del muro varían entre el 0.1% y el 0.5% de su altura.
- La aceleración se mantiene constante en toda la cuña.
- La longitud del muro es considerablemente larga para despreciar los efectos de frontera.
- El problema es bidimensional. (García, 2020, pág. 12)

2.6 Cargas actuantes en un muro de contención

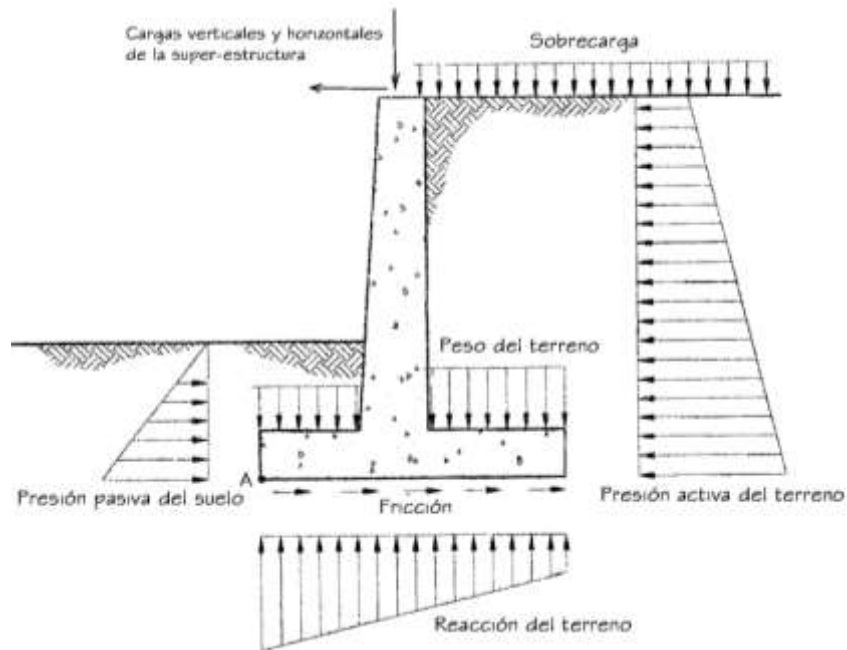
Bajo condiciones estáticas, las cargas principales presentes en un muro de contención son:

- Presión activa y pasiva del relleno
- Peso del relleno
- Peso propio del muro
- Sobrecarga
- Esfuerzo de contacto del suelo

Adicionalmente, en caso de ser un estribo de puente, se deben considerar las siguientes cargas; cargas verticales de la superestructura, fuerza de frenado de los vehículos y fuerza centrífuga (solo para puentes curvos).

Figura 5

Cargas típicas de un muro de contención o estribo de puente



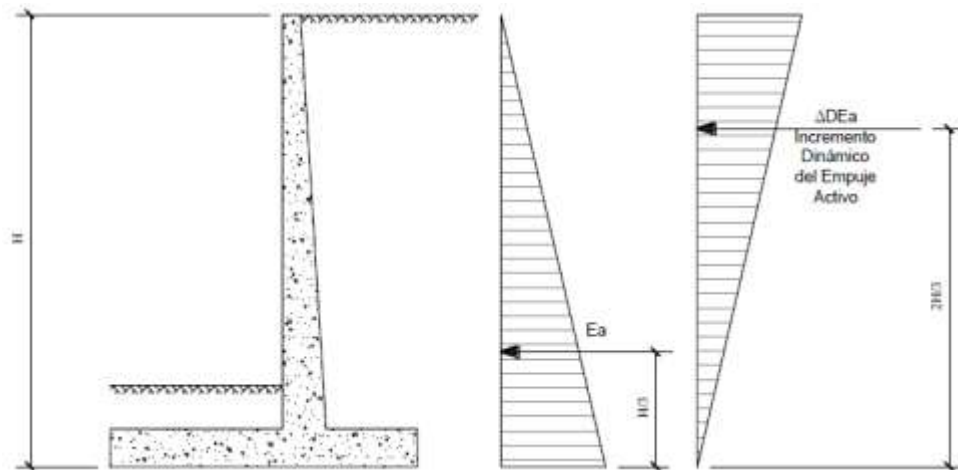
Nota. Las cargas presentadas en esta figura no incluyen efectos sísmicos. En caso de existir nivel freático, se debe considerar el empuje del agua. Adaptado de *Puentes con AASHTO LRFD 2020 (9th Edition)* (p.248), por Rodríguez Arturo, 2022.

“Además de las fuerzas producidas bajo condiciones estáticas, al momento de un sismo se generan fuerzas pseudo-estáticas horizontales y verticales relacionadas con la masa del muro y el relleno” (Lucero, Pachacama, & Rodríguez, 2012, pág. 35).

En la figura 6 se muestran las cargas que actúan considerando los efectos sísmicos.

Figura 6

Empuje activo + Incremento dinámico del empuje activo



Nota. Además del incremento dinámico de la presión activa, se generan fuerzas inerciales horizontales debido a la carga sísmica de la masa del muro y el relleno. Adaptado de *Análisis y Diseño de Muros de Contención* (p.35), por Lucero Franklin, Pachacama Edgar y Rodríguez William 2012.

2.6.1 Empuje activo

Cuando un muro de contención está inmóvil y sin fricción (condición de reposo) y se le permite movimiento, alejándose del suelo, cada porción de suelo junto al muro podría expandirse lateralmente. Mientras el esfuerzo vertical se mantiene constante, el esfuerzo lateral o empuje del suelo disminuye. La reducción del esfuerzo es elástica y proporcional a la deformación. (Lucero, Pachacama, & Rodríguez, 2012, pág. 12)

En otras palabras, es el empuje del suelo sobre la pantalla del muro, después de alcanzar la máxima resistencia interna al corte del suelo. El empuje activo se refiere a la expansión lateral del suelo y al descenso de la superficie superior del terreno debido al movimiento de la pantalla. (Lucero, Pachacama, & Rodríguez, 2012, pág. 12)

El empuje resultante de la presión activa del suelo se la determina mediante la siguiente ecuación (1):

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot k_a \quad (1)$$

Donde:

- γ = Peso específico del suelo
- H = Altura del muro
- k_a = Coeficiente de empuje activo del suelo

El coeficiente de empuje activo se lo calcula en base a la teoría de Coulomb, descrita en la ecuación (2).

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\theta + \phi_f)}{[\text{sen}^2(\theta) \cdot \text{sen}(\theta - \delta)] \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi_f + \delta) \cdot \text{sen}(\phi_f - \beta)}{\text{sen}(\theta - \delta) \cdot \text{sen}(\theta + \beta)}} \right]^2} \quad (2)$$

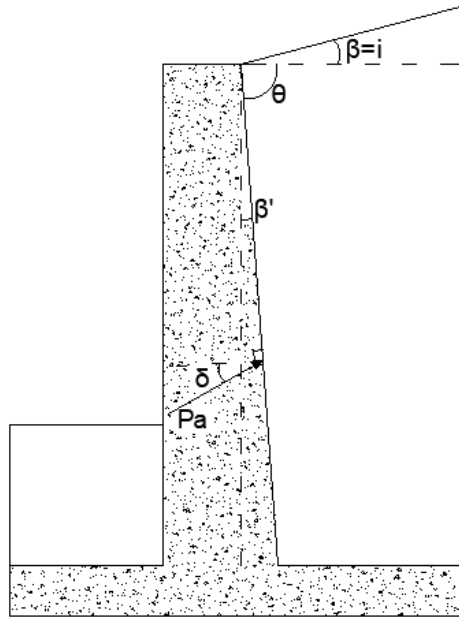
Donde:

- θ = Ángulo de inclinación de la pantalla
- ϕ_f = Ángulo de fricción interna del suelo
- δ = Ángulo de fricción entre el relleno y el muro
- β = Ángulo de inclinación del relleno activo

En la figura 7 se presentan los ángulos que intervienen en el diseño de un muro.

Figura 7

Ángulos que intervienen en un muro de contención



Nota. El ángulo de fricción entre el relleno y el muro δ varía entre 1/2 a 2/3 del ángulo de fricción interna del suelo ϕ_f . En caso que se espere una superficie del muro lisa, δ vale 0.

2.6.2 Empuje pasivo

“Este empuje se origina cuando el muro de contención es el que ejerce presión contra el terreno. El empuje pasivo va en sentido contrario al activo, se lo emplea para equilibrar estructuras de contención contra el deslizamiento” (Boixader, 2015).

El empuje pasivo y su respectivo coeficiente se obtienen mediante ecuaciones (3) y (4), basadas en la teoría de Coulomb.

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H_p^2 \cdot k_p \quad (3)$$

$$k_p = \frac{\text{sen}^2(\theta - \phi_f)}{[\text{sen}^2(\theta) \cdot \text{sen}(\theta + \delta)] \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi_f + \delta) \cdot \text{sen}(\phi_f + \beta)}{\text{sen}(\theta + \delta) \cdot \text{sen}(\theta + \beta)}} \right]^2} \quad (4)$$

Donde:

- γ = Peso específico del suelo
- H_p = Altura del relleno pasivo
- k_p = Coeficiente de empuje pasivo del suelo

2.6.3 Empuje por efecto sísmico

La fuerza lateral ejercida por el suelo en las estructuras de contención, incrementa durante los sismos debido a la aceleración horizontal del suelo retenido. En caso de muros de contención con alturas mayores a los 10 m, como los estribos, es importante tener en cuenta las cargas sísmicas. Para esto, se suele usar a la teoría de Mononobe-Okabe. (Rodríguez A. , 2022, pág. 253)

Según AASHTO LRFD (2017), las condiciones para aplicar el método de Mononobe-Okabe son:

- El material retenido detrás de la pantalla se puede aproximar a un suelo uniforme sin cohesión, dentro de la zona de la cuña, definida por 3H: 1V, en el talón del muro.
- El relleno es un suelo no saturado y suelto, lo suficiente para que pueda licuarse durante un movimiento.
- La combinación del PGA y el ángulo de inclinación del terreno no debe exceder el ángulo de fricción interna del relleno ($\phi_f \geq i + \theta'$).

El empuje activo amplificado por la acción sísmica se determina mediante la siguiente ecuación (5):

$$P_{AE} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot k_{AE} \quad (5)$$

Donde:

- γ = Peso específico del suelo
- H = Altura del muro
- k_{AE} = Coeficiente de empuje activo dinámico del suelo

Debido a que la teoría de Mononobe-Okabe es una extensión de la teoría de Coulomb, la expresión para determinar el coeficiente de empuje activo dinámico es similar al del empuje activo estático, y está dada por la ecuación (6).

$$k_{AE} = \frac{\cos^2(\phi_f - \theta' - \beta')}{[\cos(\theta') \cdot \cos^2(\beta') \cdot \cos(\delta + \beta' + \theta')] \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi_f + \delta) \cdot \text{sen}(\phi_f - \theta' - i)}{\cos(\delta + \beta' + \theta') \cdot \cos(i - \beta')}} \right]^2} \quad (6)$$

Donde:

- ϕ_f = Ángulo de fricción interna del suelo
- $\theta' = \text{arc tan } [k_h/(1 - k_v)]$
- β' = Ángulo de inclinación de la pantalla
- δ = Ángulo de fricción entre el relleno y el muro
- i = Ángulo de inclinación del relleno activo

De la misma manera que para el relleno activo y pasivo, los ángulos descritos anteriormente se los observa en la figura 7.

Los coeficientes de aceleración horizontal “ k_h ” y aceleración vertical “ k_v ” se determinan en base a un análisis seudo-estático. Como en la mayoría de los casos k_v es mucho menor a k_h , debido a que están desfasados, AASHTO LRFD (2017) asume el valor de k_v igual a cero.

Las expresiones para hallar el valor del coeficiente de aceleración horizontal k_h , se encuentran detalladas en las ecuaciones (7) y (8).

$$k_h = 0.50k_{ho} \quad (7)$$

$$k_{ho} = F_{pga} \cdot PGA \quad (8)$$

Donde:

- F_{pga} = Coeficiente de sitio
- PGA = Coeficiente de aceleración sísmica

El coeficiente de sitio F_{pga} equivale al coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto F_a descrito en la NEC (2015). Mientras que el coeficiente de aceleración sísmica PGA corresponde al factor Z .

Tabla 3

Valores de 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. El valor de F_a depende del tipo de suelo y zona sísmica. Adaptado de *Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente* (p.31), por Norma Ecuatoria de la construcción [NEC], 2015.

La fuerza sísmica “E_Q”, es el incremento dinámico del empuje activo. Se ubica a 0,60H y se lo determina empleando la ecuación (9).

$$E_Q = P_{AE} - E_H \quad (9)$$

Donde:

- P_{AE} = Empuje activo amplificado
- E_H = Diferencia entre el empuje activo y el empuje pasivo

Adicional al incremento dinámico del empuje activo, se generan fuerzas inerciales horizontales debido a la carga sísmica del muro y el relleno. Esta fuerza, se calcula utilizando la ecuación (10):

$$P_{IR} = k_h \cdot (W_w + W_s) \quad (10)$$

Donde:

- k_h = Coeficiente de aceleración horizontal
- W_w = Peso del muro
- W_s = Peso del relleno sobre el muro

Para las revisiones de estabilidad y diseño del muro, AASHTO LRFD (2017) considera un efecto combinado de las fuerzas P_{IR} y P_{AE} como se muestra a continuación:

$$100\%P_{AE} + 50\%P_{IR} \quad (11)$$

$$(50\% P_{AE} \geq E_H) + 100\%P_{IR} \quad (12)$$

Para realizar el diseño del muro de contención se usa el resultado más conservador entre la ecuación (11) y (12).

2.7 Diseño de muros de contención

2.7.1 Estados límites

Los estados límites que emplea AASHTO LRFD (2017) son condiciones o criterios que se utilizan para evaluar la seguridad y el rendimiento de una estructura bajo diferentes circunstancias de carga y servicio. Estos estados límites incluyen:

2.7.1.1 Resistencia

Garantiza la estabilidad ante las combinaciones de cargas especificadas, se refiere a la capacidad de la estructura para resistir y soportar las diferentes combinaciones de cargas aplicadas, asegurando que no se produzcan fallas.

2.7.1.2 Servicio

Evalúa el comportamiento de la estructura en condiciones normales de uso, verificando aspectos como deformaciones, asentamientos y deflexiones para garantizar que no se excedan los valores admisibles que puedan afectar la funcionalidad y durabilidad de la estructura.

2.7.1.3 Evento Extremo

Considera condiciones excepcionales, como los sismos u otras situaciones extremas, se enfoca en la capacidad de la estructura para resistir y sobrevivir a eventos inusuales o desastres naturales.

2.7.2 Combinaciones de carga

AASHTO LRFD (2017) agrupa las cargas en 4 tipos:

- DC: Carga muerta de componentes estructurales y no estructurales
- EV: Empuje vertical del suelo
- EH: Empuje horizontal del suelo
- EQ: Carga sísmica

Las combinaciones de cargas empleadas para el diseño de muros de en voladizo corresponden a la tabla 3.4.1-1.

Tabla 4

Combinaciones de carga.

Load Combination Limit State	DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU	TG	SE	Use One of These at a Time				
										EQ	BL	IC	CT	CV
Strength I (unless noted)	γ_p	1.75	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Strength II	γ_p	1.35	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Strength III	γ_p	—	1.00	1.00	—	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Strength IV	γ_p	—	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	—	—	—	—	—	—	—
Strength V	γ_p	1.35	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Extreme Event I	1.00	γ_{EQ}	1.00	—	—	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—	—
Extreme Event II	1.00	0.50	1.00	—	—	1.00	—	—	—	—	1.00	1.00	1.00	1.00
Service I	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Service II	1.00	1.30	1.00	—	—	1.00	1.00/1.20	—	—	—	—	—	—	—
Service III	1.00	γ_{LL}	1.00	—	—	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Service IV	1.00	—	1.00	1.00	—	1.00	1.00/1.20	—	1.00	—	—	—	—	—
Fatigue I— LL, IM & CE only	—	1.75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fatigue II— LL, IM & CE only	—	0.80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Nota. Tabla 3.4.1-1 de AASHTO LRFD. Adaptado de *Load and Load Factors* (Section 3), por AASHTO LRFD, 2017.

2.7.3 Factores de carga

Los factores de carga son coeficientes aplicados a las cargas esperadas en la estructura. Estos factores tienen en cuenta la incertidumbre en la magnitud y la variabilidad de las cargas reales que pueden actuar sobre una estructura durante su vida útil.

Los factores de carga se aplicados para el diseño y revisión de estabilidad de muros de contención son:

Tabla 5

Factores de carga para cada estado límite

Estados límites	γ_{DC}	γ_{EV}	γ_{EH}	γ_{EQ}
Resistencia I	0,90	1	1,50	-
Resistencia II	1,25	1,35	1,50	-
Evento extremo I	1	1	1	1

Nota. El valor de los factores de carga fue tomado de la tabla 3.4.1-1 y 3.4.1-2.

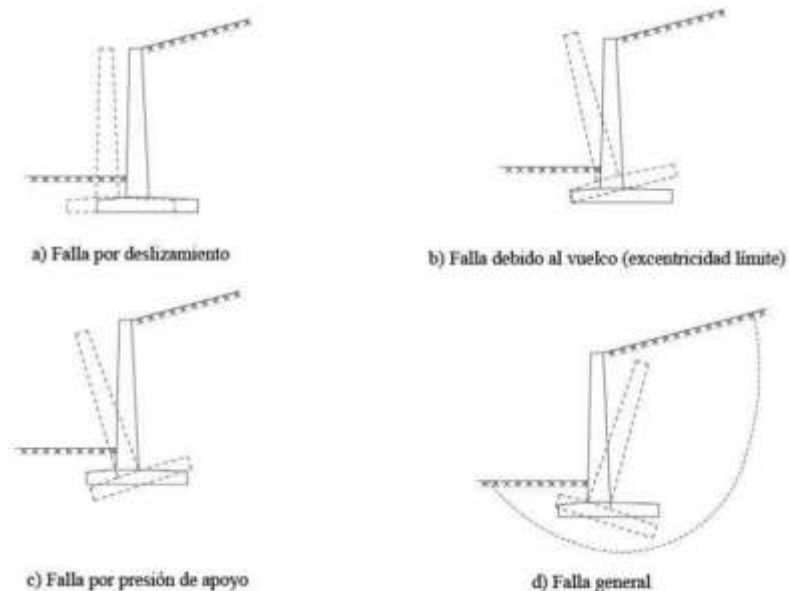
Adaptado de *Load and Load Factors* (Section 3), por AASHTO LRFD, 2017.

2.7.4 Análisis de estabilidad

Es el proceso por el que se evalúa y garantiza la estabilidad estructural de muros de contención, diques o taludes. Para revisar la estabilidad de un muro de contención, se deben revisar los mecanismos de falla mostrados en la figura 8.

Figura 8

Mecanismo de falla de muros de contención



Nota. No se considera la revisión por falla general. Adaptado de *Puentes con AASHTO LRFD 2020 (9th Edition)* (p.250), por Rodríguez Arturo, 2022.

2.7.4.1 Revisión por volteo

Se establece un límite máximo para la excentricidad de la fuerza resultante con respecto al punto donde se realiza la revisión por volteo (punta de la cimentación).

Es decir, la excentricidad generada por el esfuerzo de contacto en la cimentación del muro debe ser menor a la excentricidad máxima. La excentricidad se la determina usando la ecuación (13).

$$e = \frac{B}{2} - \frac{M_{ru} - M_{vu}}{V_{ru}} \quad (13)$$

Donde:

- M_{ru} = Momento resistente factorado
- M_{vu} = Momento de volteo factorado
- V_{ru} = Fuerza resistente factorada

Según AASHTO LRFD (2017), la máxima excentricidad para que no se produzca una falla por volteo está dada por:

- Estado límite de Resistencia: De acuerdo con la sección 11.6.3.3, para muros cimentados en suelo blando, la resultante de la fuerza de reacción del suelo debe estar ubicada dentro de los dos tercios centrales ($e \leq B/3$). Mientras que, para suelos rocosos, se mantendrá dentro de los nueve décimos centrales ($e \leq 0,45B$).
- Estado límite de Evento Extremo: En la sección 11.6.5.1, indica que para cualquier tipo de suelo cuando $\gamma_{EQ} = 0$, la ubicación de la resultante no debe exceder los dos tercios de la mitad de la base ($e \leq B/3$). En el caso de que $\gamma_{EQ} = 1$, la resultante se debe mantener dentro de los ocho décimos centrales ($e \leq 0,40B$). Para valores de $0 \leq \gamma_{EQ} \leq 1$ la

localización de la resultante se obtendrá por interpolación lineal entre los valores dados.

2.7.4.2 Revisión por deslizamiento

“Para que un muro no falle por el empuje excesivo del suelo, hay que tener en cuenta que la principal fuerza que resiste contra el deslizamiento es la fricción que se genera entre la base del muro y el suelo” (Ballón & Echenique, 2017, pág. 54).

La resistencia nominal al deslizamiento para los estados límites de Resistencia y Evento Extremo se los determina mediante la ecuación (14).

$$\phi R_n = \phi_\tau \cdot R_\tau + \phi_{ep} \cdot R_{ep} \quad (14)$$

Donde:

- R_τ = Resistencia nominal al deslizamiento entre el suelo y el muro
- ϕ_τ = Factor de resistencia para la resistencia al corte entre el suelo y la cimentación
- R_{ep} = Resistencia nominal pasiva del suelo
- ϕ_{ep} = Factor de resistencia para la resistencia nominal pasiva

Los valores de ϕ_τ y ϕ_{ep} para el estado límite de Resistencia se determinan de las tablas 11.5.7-1 y 10.5.5.2.2-1. Mientras que para el estado límite de Evento Extremo el valor de estos dos factores es 1. La resistencia nominal pasiva del suelo “ R_{ep} ” está en función del uso del diente, en caso de no considerarlo, R_{ep} vale 0.

Si el suelo debajo de la cimentación no es cohesivo, la resistencia nominal al deslizamiento entre el suelo y el muro está dada por la siguiente ecuación (15):

$$R_\tau = C \cdot V_{ru} \cdot \tan(\phi_f) \quad (15)$$

Donde:

- C = Vale 1 para hormigón hecho en sitio y 0,80 para hormigón prefabricado
- V_{ru} = Fuerza resistente factorada
- ϕ_f = Ángulo de fricción interna del suelo

2.7.4.3 Revisión por presiones en la base

Las fuerzas verticales transmitidas al suelo por medio de la cimentación del muro producen esfuerzos de contacto, estas presiones deben ser menor a la capacidad de carga última del suelo.

De acuerdo con AASHTO LRFD (2017), si el suelo donde se está cimentando el muro es blando, los esfuerzos se determinan considerando una distribución uniforme como se muestra en la ecuación (16).

$$q = \frac{\Sigma V_{ru}}{B - 2e} \quad (16)$$

Donde:

- V_{ru} = Fuerza resistente factorada
- B = Ancho de la cimentación
- e = Excentricidad de la resultante

Cuando se trata de un suelo rocoso, se asume una distribución triangular o trapezoidal, lo que resulta en el cálculo de esfuerzos máximo y mínimo según las ecuaciones (17) y (18) respectivamente.

$$q_{\text{máx}} = \frac{\Sigma V_{ru}}{B} \cdot \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \quad (17)$$

$$q_{\text{mín}} = \frac{\Sigma V_{ru}}{B} \cdot \left(1 - \frac{6e}{B}\right) \quad (18)$$

La capacidad nominal del suelo se calcula usando la ecuación (19). El factor ϕ_b varía dependiendo el estado límite; para Resistencia vale 0,55 y para Evento Extremo es 0,80.

$$q_r = \phi_b \cdot q_u \quad (19)$$

Donde:

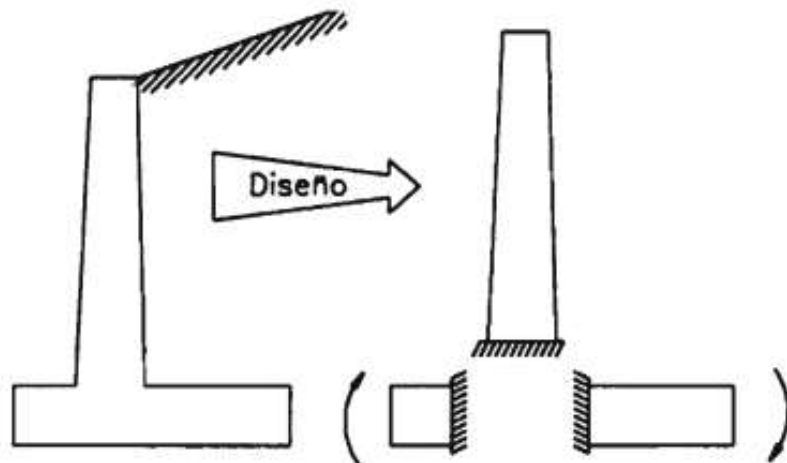
- ϕ_b = Factor de resistencia
- q_u = Capacidad última del suelo

2.7.5 Diseño a flexión

Una vez definidas las dimensiones de la estructura y haber chequeado las revisiones de estabilidad, se diseña la armadura por flexión. Para ello, la pantalla, punta y talón se consideran como volados, como se muestra en la figura 9.

Figura 9

Criterios para el diseño de un muro en voladizo



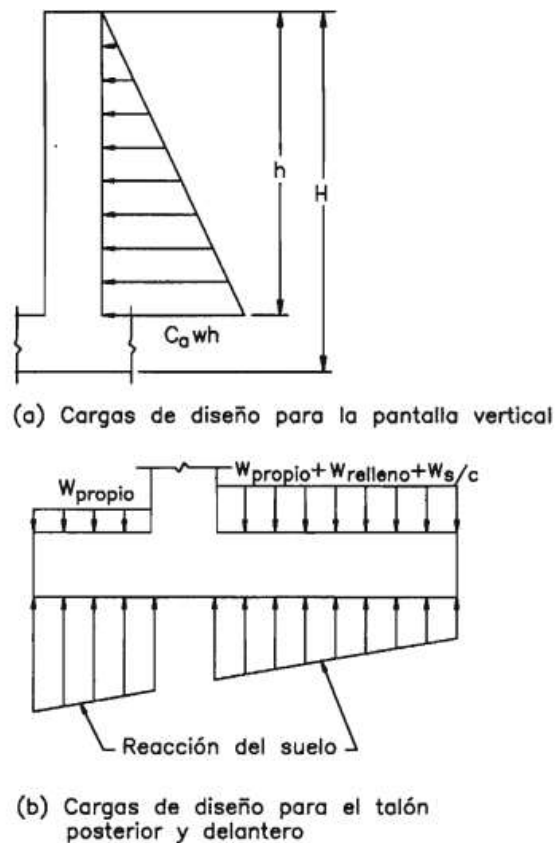
Nota. Adaptado de *Diseño de estructuras de concreto armado* (p.372), por Harmsen, T. E., 2002, Pontificia Universidad Católica del Perú.

Sobre la pantalla vertical del muro, actúan el empuje activo del suelo y el efecto de la sobrecarga en el relleno, en caso de existir. Las cargas se mayoran y se calcula el refuerzo principal vertical. Este refuerzo se ajusta de acuerdo al diagrama de momentos flectores. (Harmsen, 2002, pág. 371)

El refuerzo horizontal debe distribuirse en el borde exterior del muro, ya que en esa zona se producen las mayores variaciones de temperatura. En esta cara, el acero vertical debe ser el mínimo suficiente para sostener las varillas horizontales durante el proceso constructivo. (Harmsen, 2002, pág. 372)

Figura 10

Cargas que actúan sobre la pantalla, punta y talón



Nota. En la pantalla también actúan las cargas sísmicas P_{AE} y P_{IR} . Adaptado de *Diseño de estructuras de concreto armado* (p.372), por Harmsen, T. E., 2002, Pontificia Universidad Católica del Perú.

La punta es el elemento diseñado para resistir el esfuerzo de contacto del suelo. Por lo general el peso del relleno pasivo es despreciable, debido a que puede ser removido durante la vida útil del muro. El refuerzo de la cara inferior se extiende hasta la punta. (Harmsen, 2002, pág. 373)

El talón se diseña de manera similar a la punta, considerando además de la reacción del suelo, las fuerzas que actúan en dirección de la gravedad, como el peso del relleno, del talón y posibles sobrecargas. El refuerzo de la cara superior se extiende hasta el talón. (Harmsen, 2002, pág. 373)

Tanto en la punta como en el talón, se coloca refuerzo de temperatura perpendicular a la armadura principal.

2.7.5.1 Acero requerido

La fórmula para determinar el acero por flexión usado para este trabajo es el detallado en la ecuación (20).

$$\frac{\phi \cdot f_y^2 \cdot A_s}{1,70 \cdot f'c \cdot b} + \phi \cdot f_y \cdot d \cdot A_s - M_u = 0 \quad (20)$$

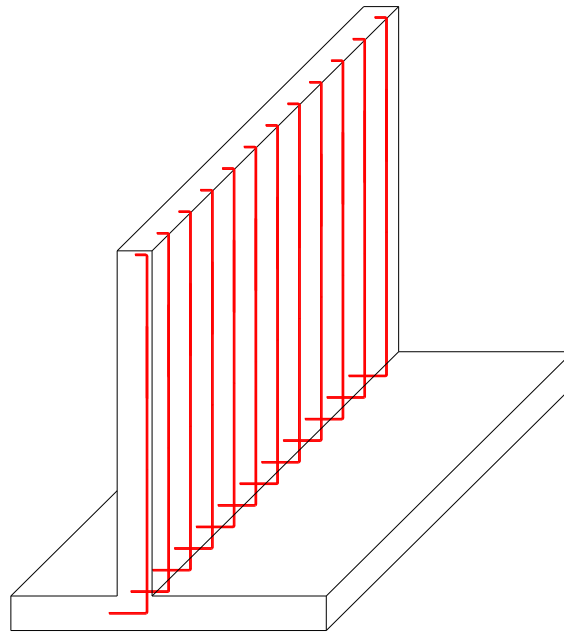
Donde:

- ϕ = Factor de reducción de resistencia (0,90)
- f_y = Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo
- $f'c$ = Resistencia máxima a la compresión del concreto
- b = Espesor de la pantalla o cimentación
- d = Peralte efectivo
- M_u = Demanda a flexión

Los elementos del muro diseñados por acero requerido son los mostradas en la figura 11 y 12.

Figura 11

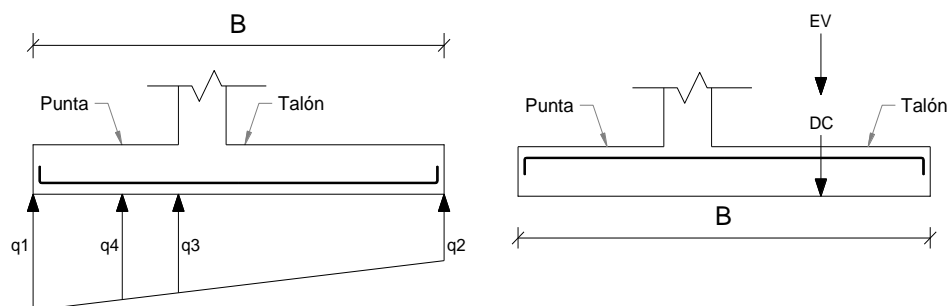
Pantalla - Cara en contacto con el relleno activo



Nota. La demanda a flexión M_u es la mayor entre las combinaciones de carga del estado límite de Resistencia y Evento Extremo.

Figura 12

Cimentación - Punta y Talón



Nota. La demanda a flexión M_u es la mayor entre las combinaciones de carga del estado límite de Resistencia.

2.7.5.2 Acero mínimo

Según Artículo 5.6.3.3 (AASHTO LRFD, 2017) se determina que el acero mínimo debe ser adecuado para desarrollar una resistencia factorizada a la flexión, M_r , como mínimo igual al menor valor entre:

$$1,33M_u \quad (21)$$

$$1,20M_{cr} \quad (22)$$

Donde:

- M_u = Demanda a flexión
- M_{cr} = Momento de agrietamiento

El momento de agrietamiento se lo determina en base al esfuerzo de rotura del hormigón y el módulo de sección del muro, como se muestra en la ecuación (23), (24) y (25):

$$M_{cr} = f_r \cdot s \quad (23)$$

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

$$s = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (25)$$

Donde:

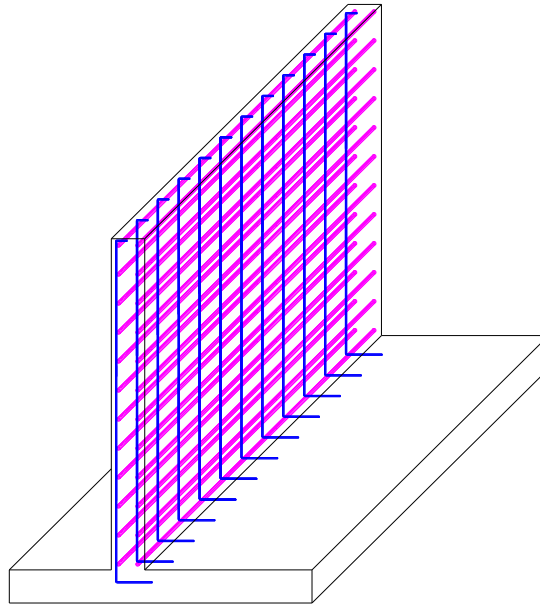
- f_r = Esfuerzo máximo a tensión del hormigón
- s = Modulo de sección

2.7.5.3 Acero por temperatura

El acero por temperatura se coloca en zonas donde no hay presencia de acero principal, por lo general en la cara de la pantalla opuesta al relleno pasivo y en el sentido perpendicular al acero principal como se presenta en la figura 13.

Figura 13

Pantalla - Cara opuesta al relleno pasivo y cara perpendicular al acero principal

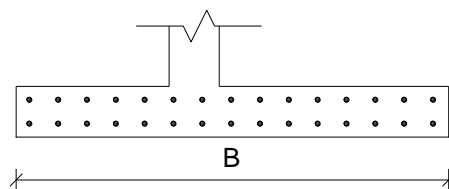


Nota. El acero por temperatura está representado mediante los aceros de color azul y morado.

Además de la pantalla, se coloca acero por temperatura en la cimentación, en la cara opuesta al acero principal como se muestra en la figura 14.

Figura 14

Cimentación - Cara perpendicular al refuerzo principal



Nota. El acero por temperatura está representado mediante los aceros de color negro.

El acero por temperatura se lo determina usando la ecuación (26).

$$A_{\text{stemp}} = \frac{0,18 \cdot b \cdot h}{2 \cdot (b + h)} \quad (26)$$

Donde:

- b = Espesor de la pantalla o cimentación
- h = Altura de la pantalla o cimentación

A su vez, el valor del acero de temperatura debe estar entre los siguientes valores:

$$2,33 \frac{cm^2}{m} \leq A_{\text{stemp}} \leq 12,70 \frac{cm^2}{m}$$

La separación máxima del acero por temperatura es el menor valor entre la ecuación (27) y (28).

$$s_{\text{máx}} = 3 \cdot t \quad (27)$$

$$s_{\text{máx}} = 45 \text{ cm} \quad (28)$$

2.7.6 Diseño a corte

Por lo general, el cortante no gobierna en el diseño de un muro de contención, en caso de no usar acero de refuerzo transversal, se debe verificar que el espesor del muro sea suficiente para resistir las demandas a corte. (Rodríguez A. , 2022, pág. 286).

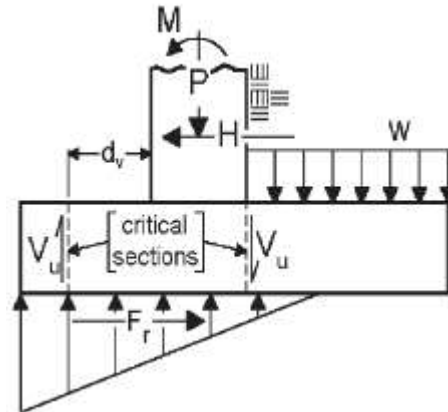
Al igual que en el diseño a flexión, las fuerzas con las que se diseña a corte la pantalla, punta y talón son las mismas que las mostradas en la figura 10. La sección crítica de análisis para el cortante en la pantalla está ubicada en la base de la misa.

En el diseño de la punta, la sección crítica donde se calcula la demanda a corte se encuentra a una distancia efectiva “ d_v ” medida desde la cara de la pantalla.

En caso del talón, la verificación del cortante no se efectúa en una sección crítica ubicada a una distancia efectiva “ d_v ” de la pantalla vertical, sino en la cara del apoyo, debido a que la reacción sobre el talón es una fuerza de tensión.

Figura 15

Sección crítica para cortante en cimentaciones



Nota. Sección crítica para la pantalla, punta y talón de un muro de contención.

Adaptado de *Load and Load Factors* (Section 3), por AASHTO LRFD, 2017.

Según el Artículo 5.7.3.3 (AASHTO LRFD, 2017), la capacidad a corte de los elementos estructurales está dada por el menor valor entre la ecuación (29) y (30).

$$V_n = V_c + V_s + V_p \quad (29)$$

$$V_n = 0,25 \cdot f'c \cdot b_v \cdot d_v + V_p \quad (30)$$

Donde:

- V_c = Resistencia nominal a corte proporcionada por el hormigón
- V_s = Resistencia nominal a corte proporcionada por el acero de refuerzo
- V_p = Resistencia nominal a corte proporcionada por la componente vertical de la fuerza de presfuerzo
- b_v = Ancho del elemento
- $d_v = d - a/2$

Para determinar la capacidad nominal a corte del concreto y el acero se usa la ecuación (31) y (32) respectivamente.

$$V_c = 0,53 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_v \cdot d_v \quad (31)$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d_v}{s} \quad (32)$$

El valor de la distancia efectiva no debe ser menor al mayor valor entre las siguientes expresiones:

$$d_{v\text{mín}} = 0,90 \cdot d_e \quad (33)$$

$$d_{v\text{mín}} = 0,72 \cdot h \quad (34)$$

Donde:

- d_e = Peralte efectivo (d)
- h = Espesor de la pantalla o cimentación

Por último, la capacidad de diseño a corte del muro se determina utilizando un factor de reducción de resistencia igual a 0,90.

$$\phi V_n = \phi \cdot V_n \quad (35)$$

Donde:

- ϕ = Factor de reducción de resistencia (0,90)

En caso de no considerar acero de refuerzo transversal en el diseño, la resistencia a corte del acero vale 0. Así mismo, en caso de no ser un elemento presforzado o que la trayectoria de los cables sea horizontal, la componente de vertical de la fuerza de presfuerzo es 0.

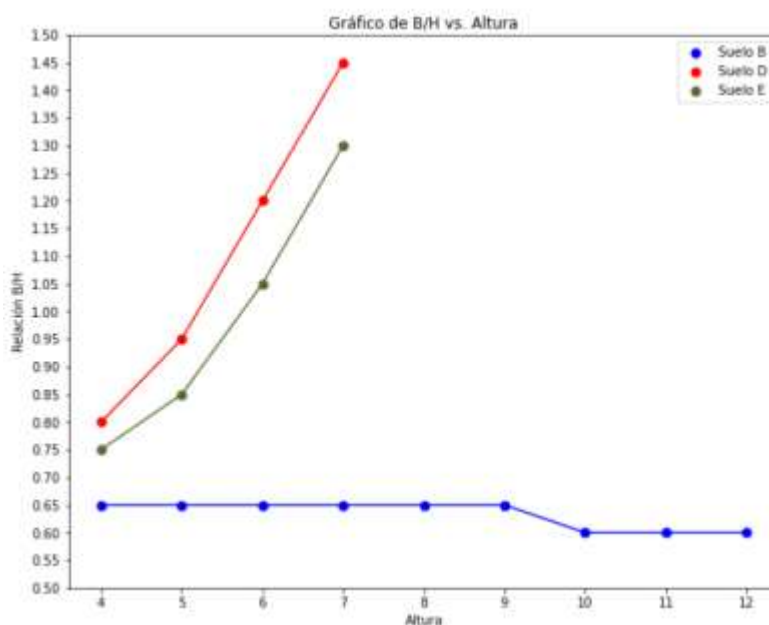
CAPITULO III: Metodología

3.1 Problemática de estudio

La capacidad de carga del suelo es un factor importante en el diseño de muros de contención, la correcta disposición geométrica de estos desempeña un papel fundamental en la estabilidad y eficiencia de las estructuras de carácter civil. En el trabajo de titulación “Evaluación de la eficiencia de muros de contención en función de sus propiedades geométricas” (Anda y Herrera, 2023) se identificó que la variabilidad de la capacidad portante del suelo influye de manera directa en el análisis de relaciones geométricas eficientes.

Figura 16

Relación B/H de los diferentes tipos de suelos



Nota. Para suelos blandos de baja capacidad portante, a medida que la altura de los muros crece, los criterios para establecer las relaciones geométricas dejan de ser eficientes. Adaptado de *Evaluación de la Eficiencia de Muros de Contención en Función de sus Propiedades Geométricas* (p.64), por Anda y Herrera, 2023, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

El presente trabajo tiene como objetivo obtener las relaciones geométricas eficientes de muros de contención con cimentación superficial variando la altura del muro y la capacidad de carga del suelo. Para este propósito se desarrolló un código en Python con el fin de agilizar el proceso de análisis de estabilidad y diseño de muros de contención para cada tipo de suelo especificado según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15).

Para el caso de estudio evaluado en este trabajo, se ha considerado como variables de análisis la altura del muro, el tipo de suelo y su capacidad portante (sección 3.2), así mismo, se han mantenido valores fijos (sección 3.3), esto para facilitar el desarrollo del programa y la interpretación de resultados.

Como guía de diseño se usó el AASHTO LRFD 2017, en la sección 3.4 se describe las revisiones y estados límites usados para la parte de diseño estructural.

3.2 Variables de análisis

Tal como fue mencionado en el anterior apartado, los parámetros usados como variables principales son; la altura del muro, el tipo de suelo en el que este cimentado y su capacidad de carga.

En el caso de la altura, se está considerando rangos de 4 a 12 m. Las demás dimensiones, como el ancho de la cimentación “B”, posición de la pantalla “x”, espesor de la pantalla “tw” y espesor de la cimentación “h1”, se han considerado como variables secundarias y están en función de la altura o indirectamente relacionada a esta. En la **tabla 6** se muestran los rangos e intervalos empleados.

Tabla 6

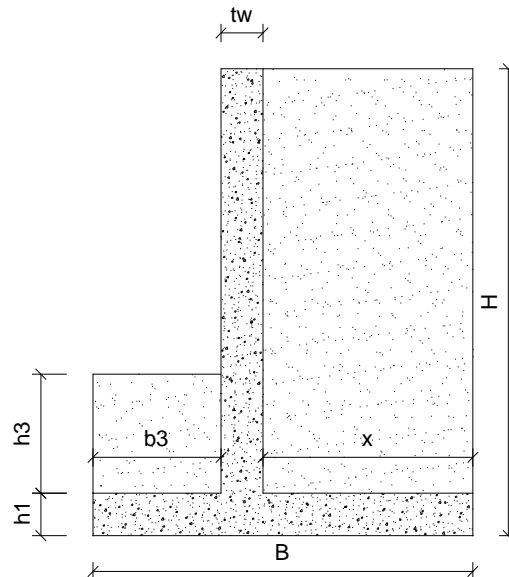
Límites de dimensionamiento para el diseño de los muros de contención

Variable	Nomenclatura	Rango	Intervalos
Altura	H	(4-12) m	1 m
Base	B	(50%-165%) H	5%
Posición de pantalla	x	(0%-90%) B	5%
Espesor de pantalla	tw	(5%-18%) H	1%
Espesor de zapata	h1	(5%-18%) H	1%

La posición de la pantalla (x) está medida respecto al talón del muro como se puede observar en la **figura 17**. La variable h3 se refiere a la altura del relleno pasivo sobre la punta, esta altura es considerada como el 15% de la altura del muro.

Figura 17

Vista de la nomenclatura empleada



De acuerdo a la NEC-SE-DS-Peligro-Sísmico, los tipos de suelos presentes en el Ecuador son:

- Suelo tipo A
- Suelo tipo B
- Suelo tipo C

- Suelo tipo D
- Suelo tipo E
- Suelo tipo F (No se considera en el análisis)

Los suelos considerados para el análisis son los 5 primeros (A hasta el E), no se toma en cuenta el suelo tipo F, ya que son estratos susceptibles a la falla o colapso en momento de un sismo, los cuales requieren una evaluación especial hecha en sitio por un ingeniero geotécnico.

Los suelos tipo A y B son clasificados como rocosos, mientras que los suelos C, D y E se clasifican como blandos. Esta clasificación es necesaria para establecer las diferencias de análisis en el límite de excentricidad y distribución del esfuerzo de contacto, y las cuales varía dependiendo de la naturaleza rocosa o blanda del suelo (sección 2.7.4.1 y 2.7.4.3).

El coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto, “Fa” de cada tipo de suelo, fue obtenido de la **tabla 3** (sección 2.6.3), considerando una zona sísmica categoría VI, con un factor Z de 0,50.

Los rangos de capacidad de carga para los distintos tipos de suelos mostrados en la **tabla 7** fueron proporcionados por ingenieros geotécnicos consultados.

Tabla 7

Valores de Fa e intervalos de capacidad de carga para cada tipo de suelo

Tipo de suelo	Fa	Capacidad de carga (Ton/m2)	Intervalos
A	0,90	60-80	4 Ton/m2
B	1,00	35-60	5 Ton/m2
C	1,18	25-40	3 Ton/m2
D	1,12	12-30	3 Ton/m2
E	0,85	10-15	1 Ton/m2

En el caso de los suelos tipo A y B, que se clasifican como rocosos, tienden a tener una capacidad de carga mayor debido a su estructura más sólida y resistente. Suelen ser más compactos y menos susceptibles a la compresión, lo que les otorga una mayor capacidad para soportar cargas sin deformarse significativamente.

Por otro lado, los suelos tipo C, D y E, clasificados como blandos, tienen una capacidad de carga menor, ya que son suelos más sueltos, menos compactos y más compresibles, lo que resulta en una menor capacidad portante, con la probabilidad de asentamientos o deformaciones altas.

Los intervalos de capacidad de carga presentados en la **tabla 7** fueron seleccionados de esa manera para garantizar una distribución equitativa de resultados entre los distintos tipos de suelo considerados.

Cabe mencionar que en el análisis se está considerando la posibilidad de que haya tipos de suelos que compartan la misma capacidad portante, con el propósito de tener una mejor visión de la problemática.

3.3 Datos considerados

Los parámetros constantes utilizados para el análisis y diseño de los muros fueron agrupados en 3 categorías; propiedades del suelo, propiedades de los materiales y parámetros de diseño estructural a flexión y corte del muro.

3.3.1 Propiedades del suelo

En el caso de propiedades del suelo, se ha definido el factor Z , el ángulo de fricción interna del suelo, los ángulos que intervienen en el diseño de un muro (sección **2.6.1**), el peso específico del relleno y los factores de resistencia para los estados límites de Resistencia (Tabla 10.5.5.2.2-1) y Evento Extremo (Artículo 11.5.8) según AASHTO LRFD 2017. Cada uno de estos valores son presentados en la **tabla 8**.

Tabla 8*Propiedades del suelo consideradas en el diseño y análisis de los muros*

Parámetro	Valor	Unidad
Factor Z	0,50	
φ_f	30	°
δ	0	°
β	0	°
θ	90	°
i	0	°
β'	0	°
γ_{sa}	1,70	Ton/m ³
γ_{sp}	1,70	Ton/m ³
φ_{b1}	0,55	
φ_{b2}	0,80	

Se considera Z igual a 0,50, esto suponiendo una zona de alta sismicidad. Para el caso del relleno, se contempla el uso de un suelo con ángulo de fricción interna de 30° y peso específico de 1,70 Ton/m³. Debido a que la pantalla del muro es de sección constante y que el relleno activo no tiene inclinación, β' , β y i son iguales a 0.

Se adopta de manera conservadora un ángulo de fricción entre el relleno y el muro " δ " igual 0, porque se asume que el muro será liso debido a los buenos acabados que tendrá en construcción. En caso que δ sea mayor a 0, el empuje activo del suelo decrece, ya que la fuerza se desvía de la dirección perpendicular de la pantalla, por ello en el análisis estructural se considera que la resultante de la presión del suelo actúa perpendicular a la pantalla del muro.

Los valores del ángulo de excavación " α " para cada tipo de suelo, utilizados para calcular el volumen de excavación del relleno se muestran en la **figura 18** y fueron escogidos en base a los recomendados en la **figura 19**.

Figura 18

Ángulos de excavación para cada tipo de suelo

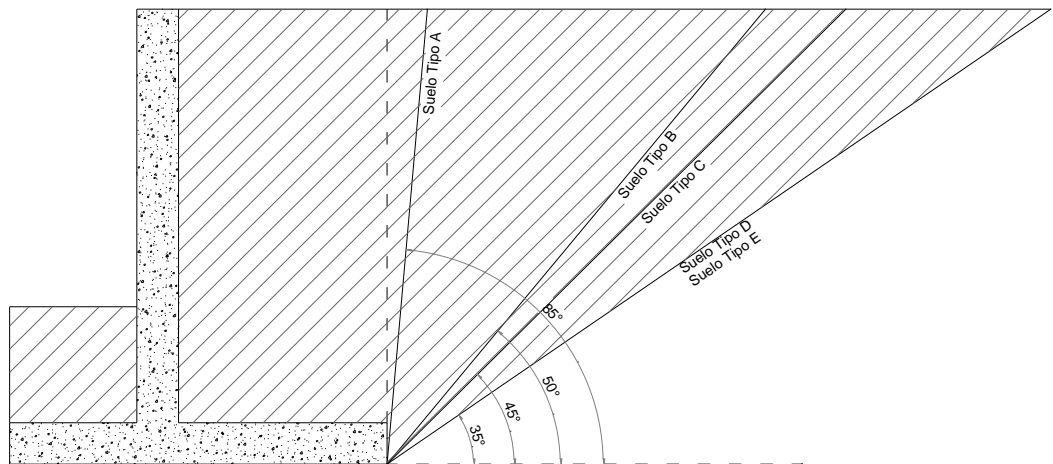
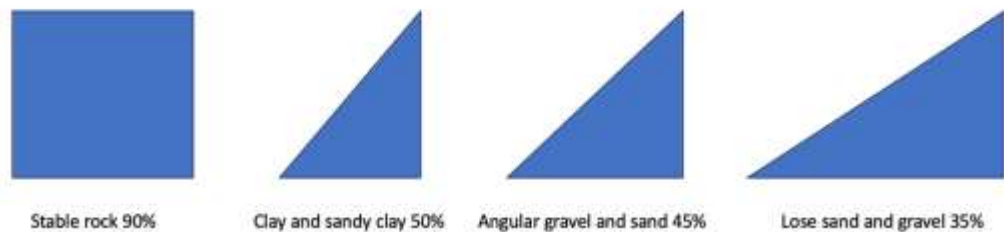


Figura 19

Ángulos de excavación recomendados



Nota. Tipos de suelo encontrados comúnmente en proyectos de muros de contención. Adaptado de *Retaining wall safe excavation slope*, por Evans, 2023, Retaining Wall Solutions.

Se decidió estandarizar el valor del ángulo de excavación para cada tipo de suelo en lugar de determinarlo en función de su ángulo de fricción interna, ya que, cada tipo de suelo tiene características diferentes y considerar esas propiedades habría extendido el análisis y ese no es el objetivo de la investigación. Además, la clasificación de los tipos de suelos en la NEC 2015 se basa en su capacidad de carga y no en sus propiedades de fricción o cohesión.

3.3.2 *Propiedades de los materiales*

En cuanto a las propiedades de los materiales, como el peso específico y la resistencia máxima a la tensión y compresión, se ha considerado usar hormigón estructural de resistencia media-alta, acero de refuerzo Grado 60 y método de construcción in situ.

De este último, depende el factor C que multiplica a la resistencia nominal al deslizamiento del muro (sección 2.7.4.2). A continuación, se presentan los valores de cada parámetro:

Tabla 9

Propiedades del hormigón y acero de refuerzo

Parámetro	Valor	Unidad
Concreto	In situ	
C	1	
f_c	350	kg/cm ²
γ_c	2,40	Ton/m ³
f_y	4200	kg/cm ²
γ_s	7,85	Ton/m ³

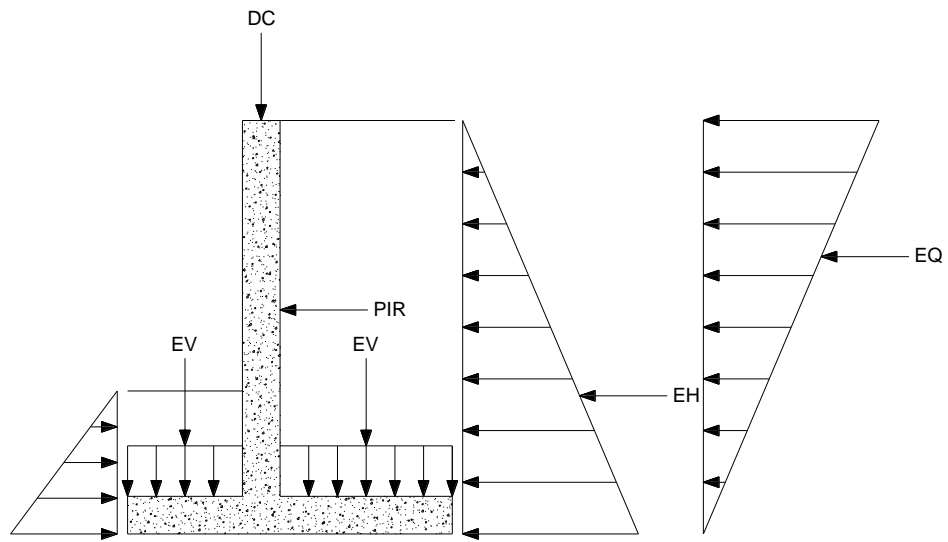
3.3.3 *Parámetros de diseño estructural*

Las cargas consideradas en el diseño y análisis estructural son:

- Fuerza vertical ejercida por el peso propio del muro (DC)
- Fuerza vertical ejercida por el peso del relleno (EV)
- Empuje lateral ejercido por el relleno activo (EH)
- Empuje lateral ejercido por el relleno pasivo (EH)
- Empuje lateral ejercido por la acción sísmica (EQ)
- Empuje lateral inercial ejercido por la carga sísmica de la masa del muro (PIR)

Figura 20

Cargas consideradas en el análisis y diseño de los muros



Para el diseño a flexión y corte se utilizó un factor de modificación de carga “n” de 1 (Artículo 1.3.2.1 de AASHTO LRFD, 2017). El recubrimiento del acero de la pantalla y la cimentación es de 5 cm y 7,50 cm respectivamente. Además, el ancho de análisis del muro de contención es de 1m.

3.4 Procedimiento para el diseño de muros en voladizo

AASHTO LRFD 2017 especifica como requisito la revisión de 3 estados límites: Resistencia, Evento Extremo y Servicio. Los estados límites considerados en este trabajo de titulación solamente son 2: Resistencia y Evento Extremo. No se consideró el estado límite de Servicio ya que no se están considerando los asentamientos o deformaciones al que podría estar sometido el elemento.

Para cada estado límite se realiza el análisis de estabilidad, el cual consiste en chequear los posibles modos de fallas del muro (volteo, deslizamiento y presiones en la base). Durante estas revisiones, se debe realizar las combinaciones de carga pertinentes para cada estado límite.

Tabla 10

Revisiones de estabilidad para cada estado límite de Resistencia y Evento extremo

Estados límites					
Resistencia			Evento Extremo		
Volteo	Deslizamiento	Presiones en la base	Volteo	Deslizamiento	Presiones en la base
$e < e_{\text{máx}}$	$\phi R_n > V_{HU}$	$\phi_b q_u > q$	$e < e_{\text{máx}}$	$\phi R_n > V_{HU}$	$\phi_b q_u > q$

Donde:

- e = Excentricidad
- $e_{\text{máx}}$ = Excentricidad máxima
- k_{AE} = Coeficiente de empuje activo dinámico del suelo
- ϕR_n = Resistencia nominal al deslizamiento
- V_{HU} = Fuerza de deslizamiento factorada
- ϕq_u = Resistencia nominal del suelo
- q = Esfuerzo de contacto del suelo

Posterior a cumplir con las 6 revisiones de estabilidad, se procede a realizar el diseño a flexión y corte.

El acero a flexión de un muro de contención en voladizo se divide en 8 tipos:

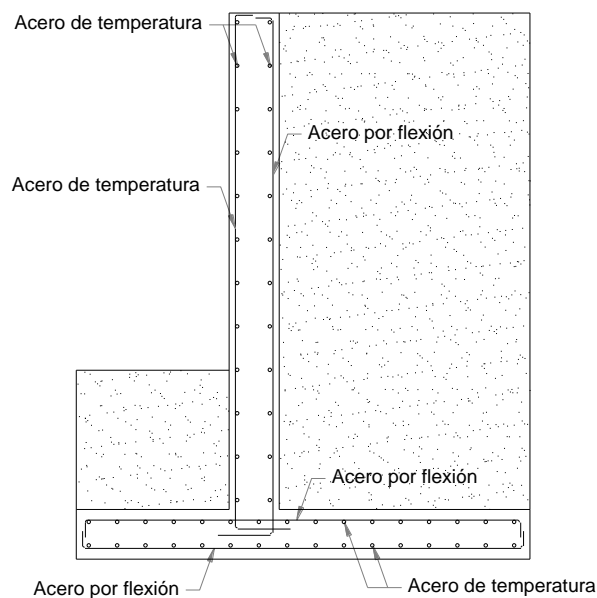
- 1) Acero longitudinal (vertical) de la pantalla en la cara en contacto al relleno pasivo
 Acero longitudinal (vertical) de la pantalla en la cara opuesta al relleno pasivo
- 2) Acero transversal (horizontal) de la pantalla en la cara en contacto al relleno pasivo
- 3) Acero transversal (horizontal) de la pantalla en la cara opuesta al relleno pasivo

- 4) Acero longitudinal (horizontal) superior de la cimentación
- 5) Acero longitudinal (horizontal) inferior de la cimentación
- 6) Acero transversal (horizontal) superior de la cimentación
- 7) Acero trasversal (horizontal) inferior de la cimentación

En el diseño a flexión, los 8 tipos de aceros del muro se clasificaron 2 grupos: acero por flexión y acero por temperatura. En la **figura 21** se observan las partes del muro en voladizo que requieren cada grupo de acero.

Figura 21

Clasificación del acero en el diseño a flexión



Los elementos que requieren acero por flexión son:

- Pantalla - Cara en contacto con el relleno activo
- Cimentación – Punta (Acero inferior) y Talón (Acero superior)

Por otro lado, los elementos que requieren acero por temperatura son:

- Pantalla - Cara opuesta al relleno pasivo y cara perpendicular a la principal

- Cimentación - Cara perpendicular a la principal (Acero superior en inferior)

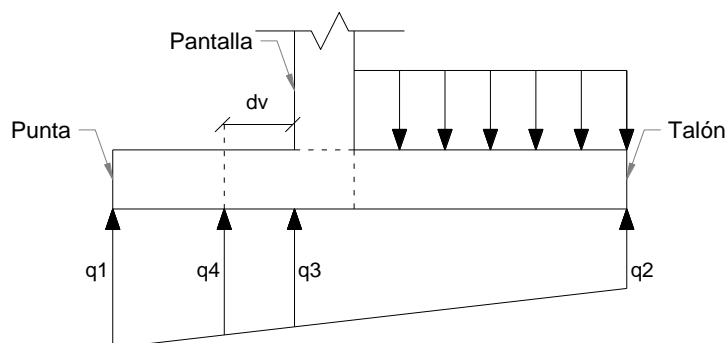
La determinación del acero por flexión y temperatura se encuentra detallado en la sección 2.7.5.

Para el diseño a corte no se está considerando el uso de refuerzo transversal, por lo que la demanda a corte lo está resistiendo netamente el concreto.

La demanda a corte en la pantalla se toma en la base de la pantalla utilizando las combinaciones de carga para los estados límites de Resistencia y Evento Extremo. En el talón, se revisa el cortante en la base del talón para el estado límite de Resistencia, mientras que, para la punta la demanda se la toma a una distancia “ d_v ” medida desde la cara del empotramiento.

Figura 22

Secciones críticas en el diseño a corte de muros en voladizo



Nota. Las líneas segmentadas representan la posición donde el cortante es crítico.

3.5 Costos referenciales

Para determinar el costo de los muros en un ancho de análisis de 1m, se consultó a varios profesionales dedicados a la construcción. Los constructores proporcionaron análisis de precios unitarios para el acero y hormigón. En cuanto al relleno, se recibieron valores específicos por parte de los profesionales consultados.

Como se observa en la **tabla 11**, los rubros empleados son los siguientes: hormigón estructural $f^c=350$ kg/cm², acero de refuerzo $f_y=4200$ kg/cm² y material de relleno.

Tabla 11

Rubros de un muro de contención en voladizo

Rubro	Valor	Unidad
Acero de refuerzo ($f_y=4200$ kg/cm ²)	1,73	\$
Hormigón estructural ($f_y=350$ kg/cm ²)	295	\$
Material de relleno	3,75	\$

Los precios unitarios mostrados en la **tabla 11** se refieren al costo de 1 kg de acero y 1 m³ de hormigón y relleno. Los costos de cada rubro fueron definidos mediante los precios unitarios y las cantidades calculadas de los materiales en estudio.

3.6 Descripción del código

El código en Python tiene la función de realizar las iteraciones variando las propiedades geométricas (dimensiones) del muro y determinar la solución más eficiente para una altura de muro determinada en función de las propiedades de suelo (tipo y capacidad de carga) establecidas. Se realizaron análisis para muros entre 4 y 12 metros de altura.

Primero se definen los datos de ingreso como: las propiedades del suelo y materiales, costos, parámetros de diseño estructural, coeficientes de amplificación del suelo, factores de carga, rangos de capacidad de carga de los suelos y los límites de dimensionamiento del muro. Luego el programa realiza las revisiones de estabilidad para los estados límites de Resistencia y Evento Extremo, para posteriormente realizar el diseño del muro a flexión y corte.

La combinación de dimensiones del muro se considera “válidas” si cumple con éxito las 9 revisiones correspondientes a la estabilidad y revisión a corte de la pantalla y cimentación. Estas son evaluadas en función de la relación demanda/capacidad. Las dimensiones que no cumplen con este criterio son desechadas.

Finalmente, el código filtra las soluciones más eficientes en función del costo del muro, es decir, se escoge la solución más económica de todas las combinaciones consideradas “validas”. A la solución ganadora (eficiente) se la relaciona con la altura del muro, el tipo de suelo y la capacidad de carga especificada.

CAPITULO IV: Resultados

4.1 Relaciones geométricas eficientes

Se definieron varias relaciones geométricas con la finalidad de relacionar todas las dimensiones de una solución, de manera directa o indirecta, a la altura de los muros. Las relaciones geométricas estudiadas fueron: Relación Base/Altura (B/H), Relación Espesor de Pantalla/Altura (t_w/H), Relación Espesor de Zapata/Altura (h_1/H) y Relación Posición de Pantalla/Base (x/B).

Una vez desarrollados los cálculos mediante el código de Python, se obtuvieron las relaciones geométricas de las combinaciones más eficientes para cada altura de muro, tipo de suelo y capacidad portante estudiada. En la **tabla 12** se presentan las relaciones geométricas y costos de las soluciones más eficientes, para distintas alturas de muro, y para un suelo Tipo B con una capacidad de carga de 35 Ton/m².

Tabla 12

Relaciones geométricas eficientes y costo aproximados para suelo tipo B

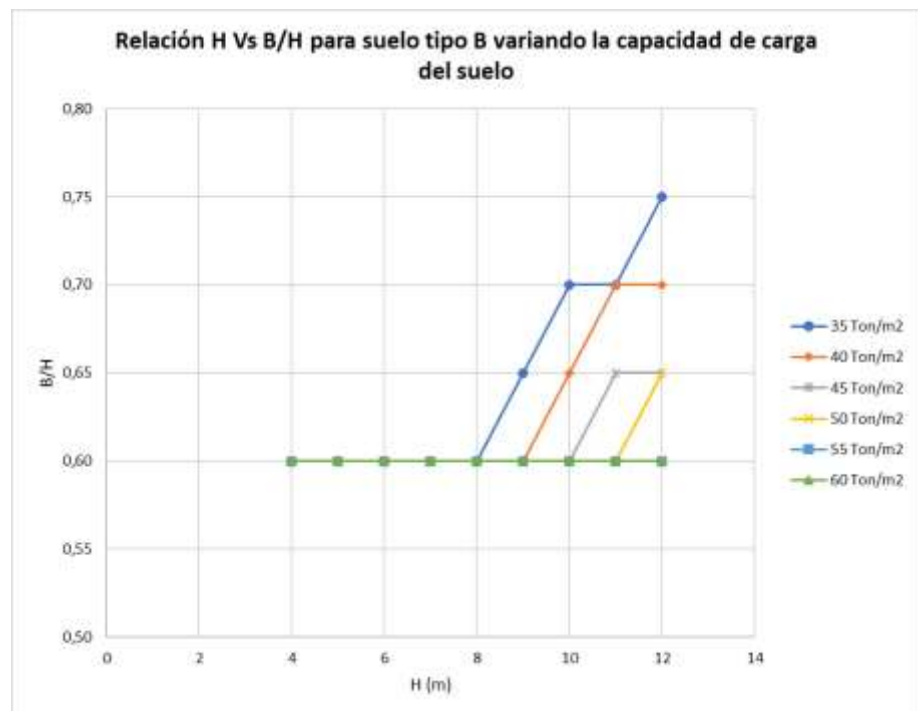
Suelo Tipo B						
qu (Ton/m ²)	Altura (m)	B/H	x/B	t_w/H	h_1/H	Costo (\$)
35	4	0,60	0,50	0,05	0,06	625,10
	5	0,60	0,50	0,05	0,06	1014,15
	6	0,60	0,45	0,05	0,07	1531,22
	7	0,60	0,45	0,05	0,07	2173,14
	8	0,60	0,30	0,05	0,10	3080,08
	9	0,65	0,35	0,05	0,08	4086,53
	10	0,70	0,30	0,06	0,08	5388,99
	11	0,70	0,20	0,06	0,10	6925,37
	12	0,75	0,25	0,07	0,09	8779,52

Las relaciones geométricas eficientes obtenidas para los diferentes tipos de suelo, capacidades de carga y alturas de muros estudiados en este trabajo se presentan en el **Anexo 01**.

En la **figura 23**, se muestran los valores de la relación B/H de las combinaciones eficientes, para las diferentes capacidades de carga del suelo tipo B. La línea azul en la figura 22 representa los valores presentados en la tabla 22, correspondiente a una capacidad de carga de 35 Ton/m².

Figura 23

Relación Base/Altura (B/H) para suelo tipo B



Las demás líneas de resultados corresponden a relaciones B/H de otras capacidades portantes del suelo tipo B.

4.2 Costos y porcentajes

En base a los parámetros analizados, el código de Python proporciona los costos aproximados de las dimensiones eficientes de cada muro. Además, otorga el porcentaje del costo total de los principales materiales de construcción (Hormigón, Acero y Relleno) de un muro de contención en voladizo.

La **tabla 13** contiene las dimensiones eficientes y el costo total de cada muro cimentado en un suelo tipo B con una capacidad portante de 35 Ton/m². De igual manera, se presenta su respectivo costo porcentual asociado a cada material que lo compone.

Tabla 13

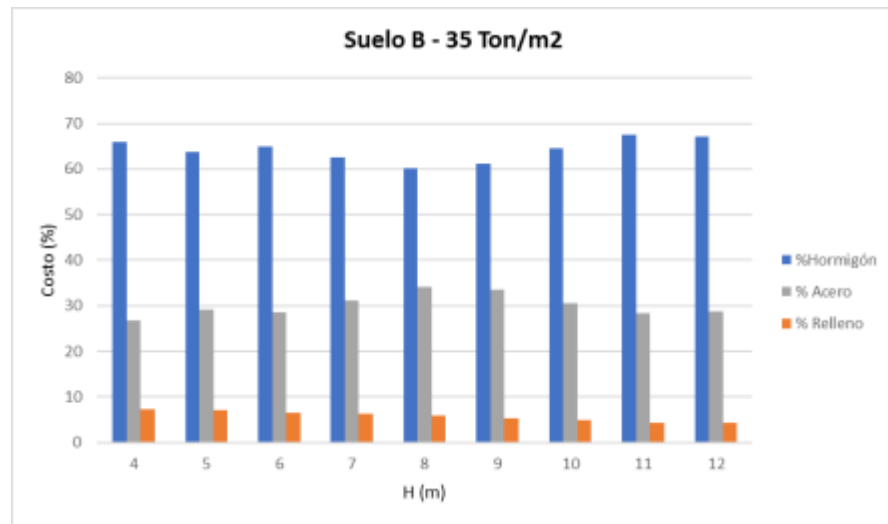
Costos de muros para suelo tipo B con una capacidad de carga de 35 Ton/m²

Suelo Tipo B									
qu (Ton/m ²)	Altura (m)	Base (m)	x (m)	tw (m)	h1 (m)	Costo (\$)	Hormigón (%)	Relleno (%)	Acero (%)
35	4	2,40	1,20	0,20	0,24	625,10	63	7	30
	5	3,00	1,50	0,25	0,30	1014,15	60	7	33
	6	3,60	1,62	0,30	0,42	1531,22	61	6	32
	7	4,20	1,89	0,35	0,49	2173,14	59	6	35
	8	4,80	1,44	0,40	0,80	3080,08	64	5	31
	9	5,85	2,05	0,45	0,72	4086,53	57	5	38
	10	7,00	2,10	0,60	0,80	5388,99	61	5	34
	11	7,70	1,54	0,66	1,10	6925,37	64	4	32
	12	9,00	2,25	0,84	1,08	8779,52	63	4	32

En la **figura 24**, se representa de manera gráfica la **tabla 13**, donde podemos observar los diferentes materiales y sus porcentajes con respecto al costo total de cada muro.

Figura 24

Costos de muros para suelo tipo B con una capacidad de carga de 35 Ton/m²



Para revisar este y otros casos de estudio de manera más detallada se recomienda revisar la sección de **Anexos 02**, donde se presentan las demás gráficas y tablas referentes al costo porcentual de los materiales.

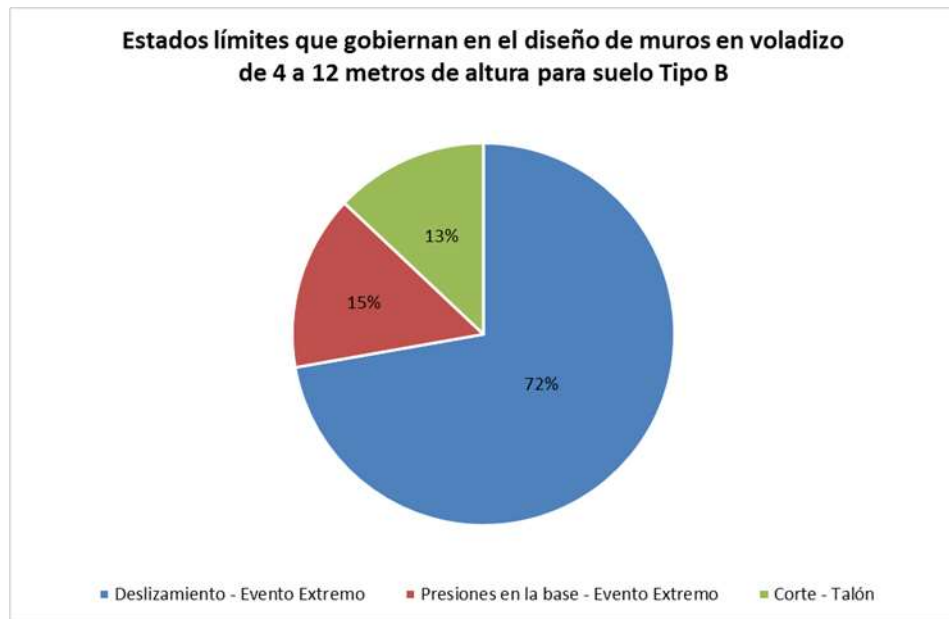
4.3 Relación demanda capacidad

Para determinar cuál es el modo de falla predominante en cada muro de contención, se determinó la relación demanda/capacidad para cada caso de estudio. En el **Anexo 03**, se presentan los patrones de falla para muros de 4 a 12 metros, para diferentes tipos de suelo y capacidades de carga.

En la **figura 25**, se muestran los estados límites que gobiernan en el diseño de muros en voladizo, cimentados en suelo tipo B.

Figura 25

Estados límites que controlan el diseño de muros en voladizo para suelo tipo B



Para revisar este y otros casos de estudio de manera más detallada se recomienda revisar la sección de **Anexos 03**, donde se presentan tablas y gráficas referentes a los estados límites que gobiernan el diseño de muros en voladizo de 4 a 12 metros de altura.

CAPITULO V: Interpretación de resultados

En este capítulo se interpretarán y discutirán los resultados obtenidos en el **Capítulo IV**.

5.1 Análisis comparativo de resultados

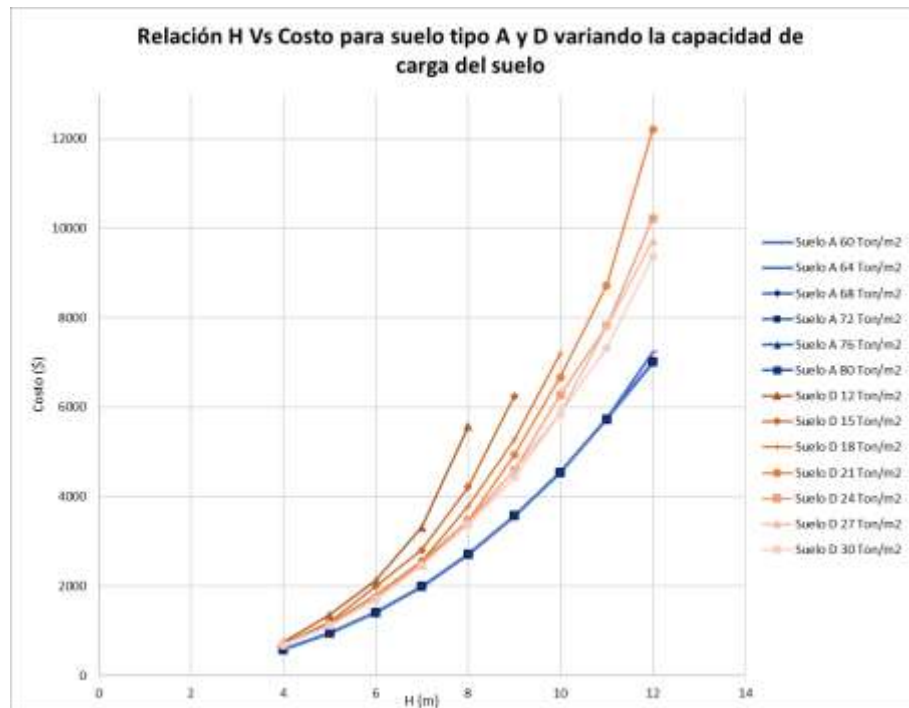
5.1.1 Costos de soluciones eficientes para diferentes tipos de suelo

En la **figura 26** se muestran los costos de las soluciones eficientes para los tipos de suelo A y D.

Se puede observar que para el tipo de suelo A se pudo obtener los costos de las soluciones más eficientes para todas las capacidades de cargas estudiadas. Por el contrario, para suelo tipo D, para las capacidades de carga más bajas (12, 15 y 18 Ton/m²) no se obtuvieron resultados en los casos de muros de mayor altura (8, 10 y 12m). Una posible causa de este resultado es que, al tener un suelo de baja capacidad y muros muy altos, no se pudo hallar ninguna solución que cumpliera con los límites de estabilidad para los distintos estados de carga. Por lo tanto, no se pudo calcular el costo de ninguna solución dentro de las dimensiones analizadas.

Figura 26

Relación Altura (H) vs Costo (\$) para un suelo tipo A y D



5.1.2 Relación Base/Altura(B/H)

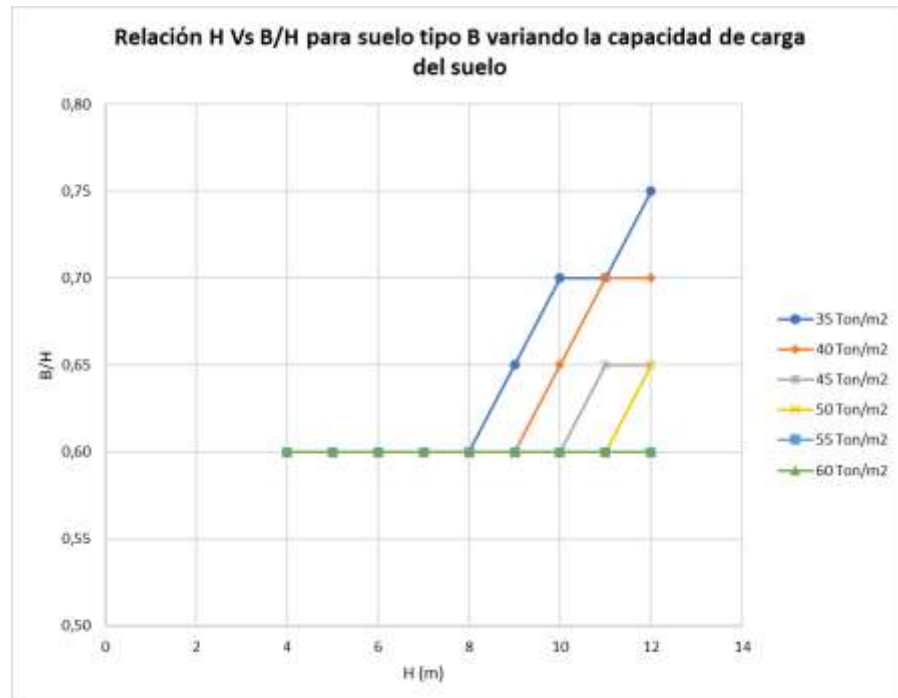
En la **figura 27**, se presenta la relación Base/Altura (B/H) versus la altura (H) para diferentes capacidades de carga (entre 35 a 60 Ton/m²) correspondientes al suelo Tipo B.

En la **figura 27** se puede observar que, para las capacidades de carga más altas estudiadas, la relación B/H se mantiene constante e igual a 0,60 independientemente a la altura del muro. A medida que la capacidad de carga va disminuyendo, se observa un aumento en los valores de B/H que empiezan a partir de altura de 8m para los valores más bajos de capacidad de carga. Los valores de B/H más altos observados son de 0,75 y corresponde a la mayor altura de muro (12m) y la menor capacidad de carga (35Ton/m²) estudiada.

Se puede concluir que, el rango de valores eficientes de Base (B) para el suelo tipo B está entre el 60 a 75% de la altura del muro (H); dentro de este rango, los valores más altos corresponden a alturas (H) mayores y capacidades de carga menores.

Figura 27

Relación Base/Altura (B/H) para suelo tipo B



Para ver este y otros casos de estudio con otros tipos de suelo, referente a la relación geométrica B/H, se recomienda visitar la sección de **Anexos 01**, donde se presentan tablas y gráficas acordes a las relaciones geométricas.

En la **figura 28**, se observa la relación Base/Altura (B/H) versus Altura (H) para un rango de capacidades de carga (entre 12 y 30 Ton/m²) que forman parte del suelo Tipo D.

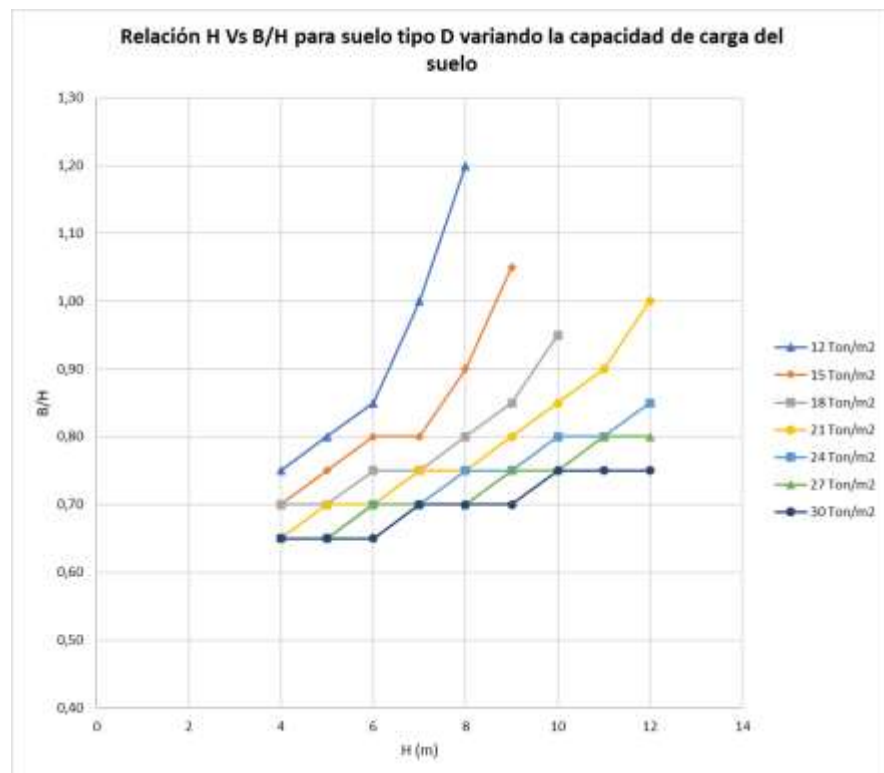
Se observa que en la **figura 28** la dispersión de los resultados es mayor, en comparación a lo visto en la **figura 27**. Para el suelo tipo D, los valores de B/H varían entre 0,65, 0,70 y 0,75 para los muros de 4m de altura. Los valores de B/H para la

capacidad de 12 Ton/m², aumentan hasta llegar a un pico de 1,20 en la altura de 8 metros. A su vez, es importante señalar que en las capacidades portantes bajas (menores a 21 Ton/m²), no se muestran valores de B/H para todas las alturas de muro, esto se debe a que estos casos no cumplieron los límites de estabilidad como se explicó en la sección **5.1 Análisis comparativo de resultados**.

Esto demuestra que, a medida que las condiciones del suelo empeoran y la capacidad de carga disminuye, los muros tienden a necesitar anchos de cimentación mayores, en el caso del suelo D es posible llegar a tener bases de hasta 1,20 veces la altura.

Figura 28

Relación Base/Altura (B/H) para suelo tipo D



Para ver este y otros casos de estudio con otros tipos de suelo referente a la relación geométrica B/H, se recomienda visitar la sección de **Anexos 01**, donde se presentan tablas y gráficas acordes a las relaciones geométricas.

5.1.3 Relación Posición de pantalla/Base (x/B)

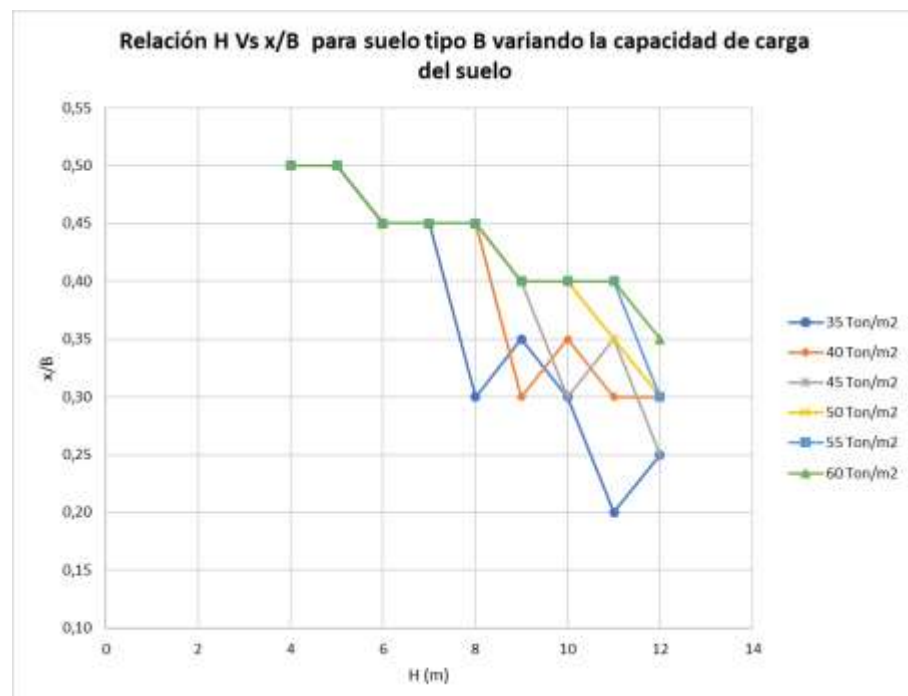
En la **figura 29**, se muestra la relación Posición de la pantalla/Base (x/B) versus Altura (H) para diferentes capacidades de carga (entre 35 y 60 Ton/m²), las cuales conforman el suelo tipo B.

En la **figura 29**, notamos que, para las capacidades portantes altas, la relación x/H varía entre 0,50 y 0,30 en casi todas las alturas (H). En cuanto a las capacidades portantes más bajas, desde la altura de 7 metros en adelante la relación (x/B) tiende a estar entre 0,45 y 0,25. Se puede ver que para la capacidad portante más baja (35 Ton/m²), la relación x/B alcanza un valor de 0,20 en la altura (H) de 11 metros, correspondiente al valor más bajo en la gráfica.

De esto se deduce que, en cuanto a menor sean las capacidades portantes, más bajas serán las relaciones (x/B), dando como resultado que la posición de pantalla para un suelo tipo B varía entre el 50% y el 25% de la base (B).

Figura 29

Relación Posición de pantalla/Base (x/B) para suelo tipo B



Para ver este y otros casos de estudio con otros tipos de suelo referente a la relación geométrica x/B , se recomienda visitar la sección de **Anexos 01**, donde se presentan tablas y gráficas acordes a las relaciones geométricas.

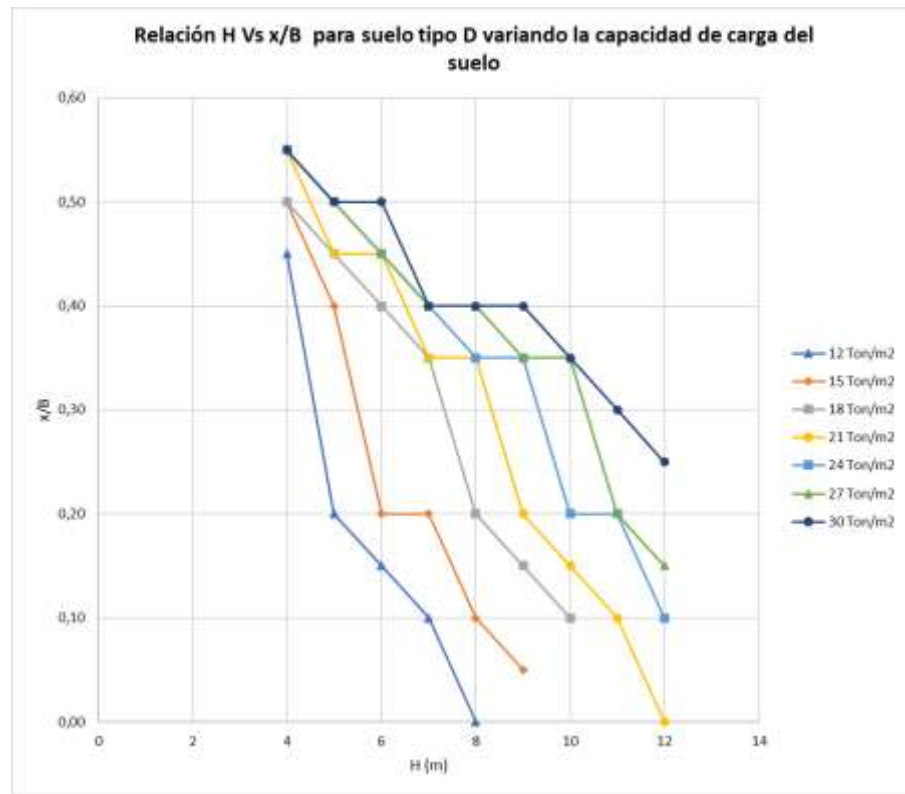
En la **figura 30**, se observa la relación Posición de la pantalla/Base (x/B) versus Altura(H), esta vez para un suelo tipo D variando la capacidad portante (entre 12 y 30 Ton/m²).

Como se observa en la **figura 30**, las relaciones x/B son más altas para las capacidades de carga elevadas (24, 27 y 30 Ton/m²), iniciando en 0,55 y descendiendo hasta 0,25 y 0,10 al alcanzar la altura máxima (12 m). En cambio, para capacidades portantes muy bajas (inferiores a 21 Ton/m²), las relaciones x/B se mantienen entre 0,50 y 0.

Se infiere que, al igual que en el suelo B, las relaciones x/B disminuyen conforme se incrementa la altura (H) y se reduce la capacidad portante del suelo. Esto implica que la posición de la pantalla debe situarse entre el 55% y el 0% de la base (B).

Figura 30

Relación Posición de pantalla/Base (x/B) para suelo tipo D



Para ver este y otros casos de estudio con otros tipos de suelo referente a la relación geométrica x/B , se recomienda visitar la sección de **Anexos 01**, donde se presentan tablas y gráficas acordes a las relaciones geométricas.

5.1.4 Relación Espesor de pantalla/Altura (tw/H)

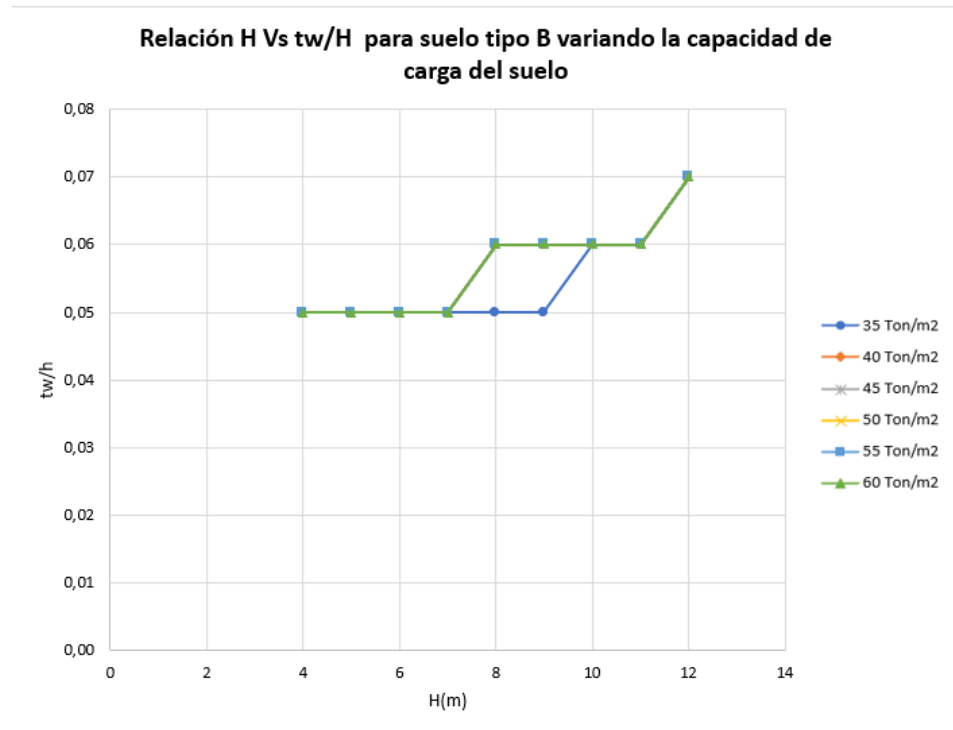
En la **figura 31**, se presenta la relación Espesor de pantalla/Altura (tw/H) versus Altura (H), variando la capacidad de carga (entre 35 y 60 Ton/m²) que corresponde al suelo tipo B.

Como se muestra en la **figura 31**, la relación tw/H varía entre 0,05 y 0,07 para todas las capacidades portantes de este tipo de suelo. No obstante, hay una ligera diferencia en la relación tw/H para la capacidad portante de 35 Ton/m², que permanece en 0,05 hasta una altura (H) de muro de 9 metros, para luego incrementar a 0,07.

Estos resultados sugieren que a medida que la altura (H) del muro aumenta, será necesario un espesor de pantalla (tw) mayor. La razón es que el relleno ejerce fuerzas mayores sobre el muro a medida que aumenta la altura (H).

Figura 31

Relación Espesor de pantalla/Altura (tw/H) para suelo tipo B



Para ver este y otros casos de estudio con otros tipos de suelo referente a la relación geométrica tw/H, se recomienda visitar la sección de **Anexos 01**, donde se presentan tablas y gráficas acordes a las relaciones geométricas.

En la **figura 32**, se muestra la relación Espesor de pantalla/Altura (tw/H) para un suelo blando (tipo D), variando la capacidad de carga de este (entre 12 y 30 Ton/m2).

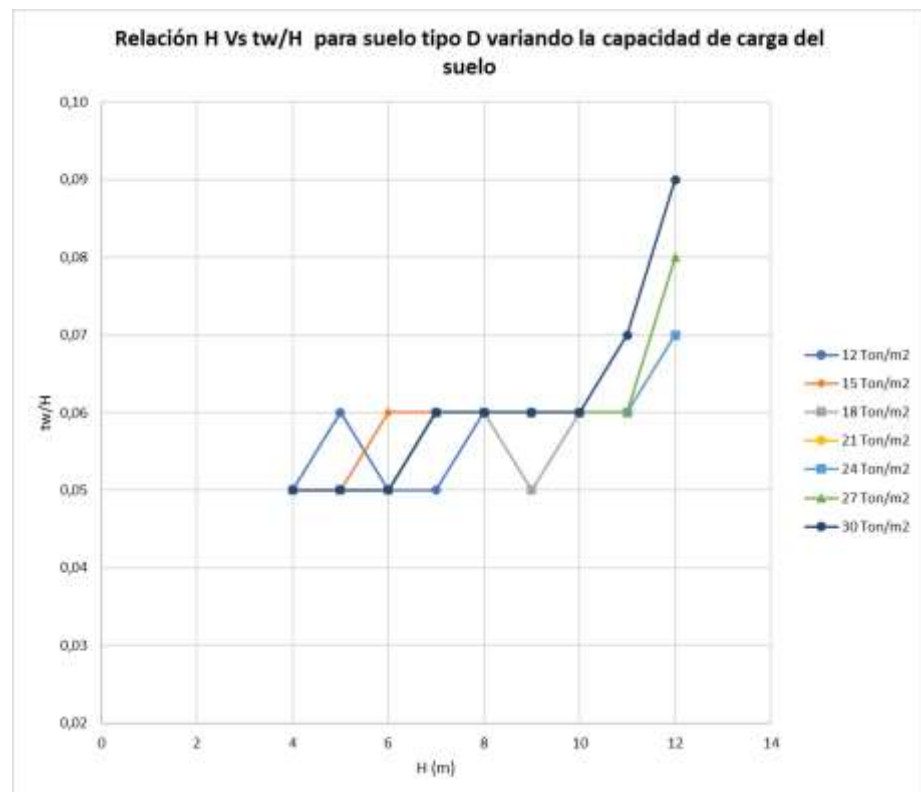
En comparación a lo mostrado en la **figura 31**, se observa en la **figura 32** que la relación tw/H para las capacidades de carga elevadas (24, 27 y 30 Ton/m2) comienza en 0,05, alcanzando valores de 0,07 y 0,09 al llegar a los 12 metros de altura (H),

siendo este último el valor más elevado para la capacidad portante de 30 Ton/m². Por otro lado, las capacidades portantes de menor magnitud mantienen la relación tw/H en un rango constante entre 0,05 y 0,07.

Interpretando lo anterior de manera general, se puede concluir que a medida que la capacidad portante del suelo y la altura (H) del muro aumentan, se necesitará un espesor de pantalla mayor, debido a que le empuje del suelo incrementa conforme aumenta la altura (H) del muro.

Figura 32

Relación Espesor de pantalla/Altura (tw/H) para suelo tipo D



Para ver este y otros casos de estudio con otros tipos de suelo referente a la relación geométrica tw/H , se recomienda visitar la sección de **Anexos 01**, donde se presentan tablas y gráficas acordes a las relaciones geométricas.

5.1.5 Relación Espesor de base/Altura (h_1/H)

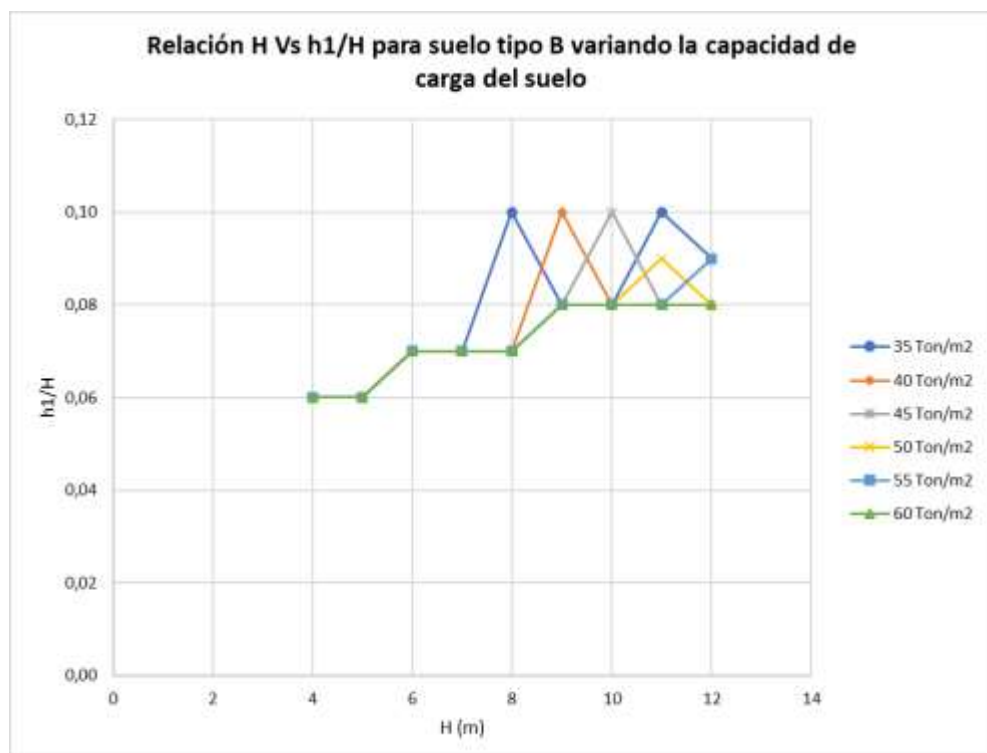
En la **figura 33**, se presenta la relación Espesor de base (h_1/H) versus la altura (H) para diferentes capacidades de carga (entre 35 a 60 Ton/m²) correspondientes al suelo Tipo B.

Observando la **figura 33**, se evidencia que la tendencia general en la relación h_1/H , varía entre 0,06 y 0,10. También se ven fluctuaciones en las capacidades portantes más bajas, teniendo picos que varían entre 0,08 y 0,10 entre las alturas (H) de 8 y 11 metros.

En definitiva, se puede afirmar que el espesor de la base de un muro depende de dos factores: la altura del muro (H) y la capacidad de carga del suelo. A mayor altura del muro, mayor debe ser el espesor de la base. Del mismo modo, a menor capacidad de carga del suelo, mayor debe ser el espesor de la cimentación.

Figura 33

Relación Espesor de base/Altura (h_1/H) para suelo tipo B



Para ver este y otros casos de estudio con otros tipos de suelo referente a la relación geométrica h_1/H , se recomienda visitar la sección de **Anexos 01**, donde se presentan tablas y gráficas acordes a las relaciones geométricas.

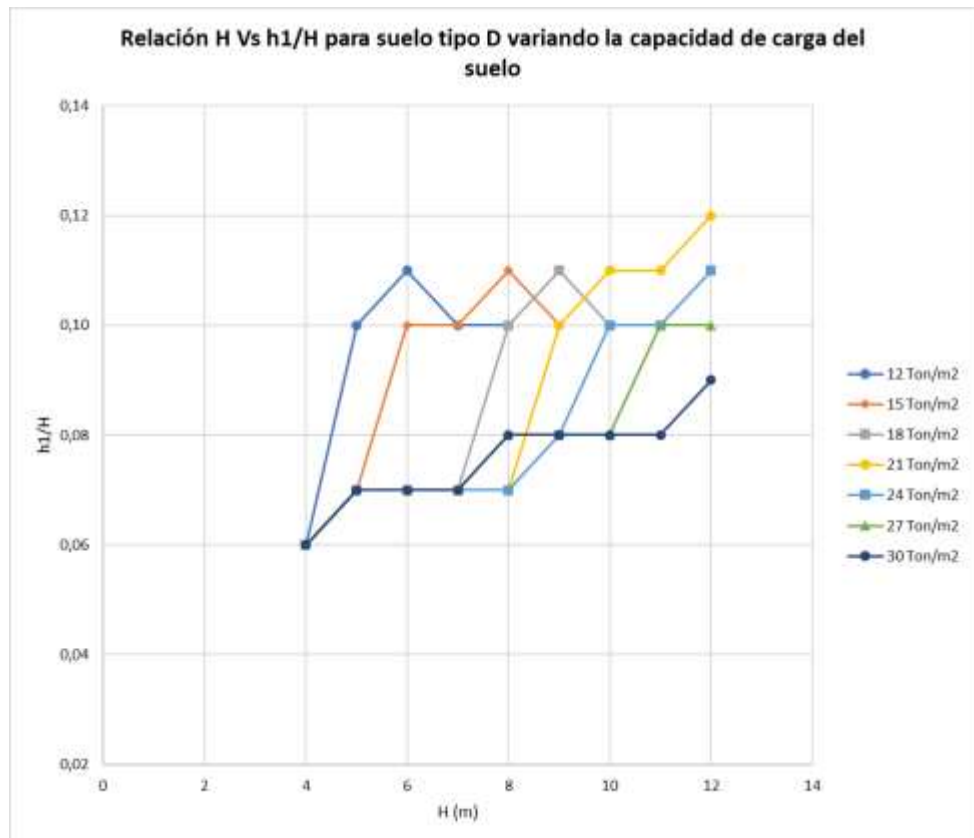
De manera alternativa, se analizará la **figura 34**, en la cual se observa la relación Espesor de base/Altura (h_1/H), variando la capacidad de carga para el caso del suelo tipo D.

De acuerdo a la **figura 34**, la relación h_1/H inicia en 0,06 para todas las capacidades de carga analizadas. En el caso de las capacidades de carga más elevadas (24, 27 y 30 Ton/m²), dicha relación oscila entre 0,06 y 0,11. Por otro lado, para las capacidades de carga menores (de 12 a 21 Ton/m²), la relación comienza en 0,06 y alcanza valores máximos de 0,11 en alturas (H) de muro de 6, 8 y 9 metros. Destaca que la relación h_1/H para la capacidad portante de 21 Ton/m² alcanza su valor máximo de 0,12 en la altura máxima (12 m) del caso de estudio.

Se puede concluir que, al igual que en el caso anterior, a medida que la capacidad portante del suelo disminuye y la altura (H) aumenta, se requerirá un espesor de base mayor.

Figura 34

Relación Espesor de base/Altura ($h1/B$) para suelo tipo D



Para ver este y otros casos de estudio con otros tipos de suelo referente a la relación geométrica $h1/H$, se recomienda visitar la sección de **Anexos 01**, donde se presentan tablas y gráficas acordes a las relaciones geométricas.

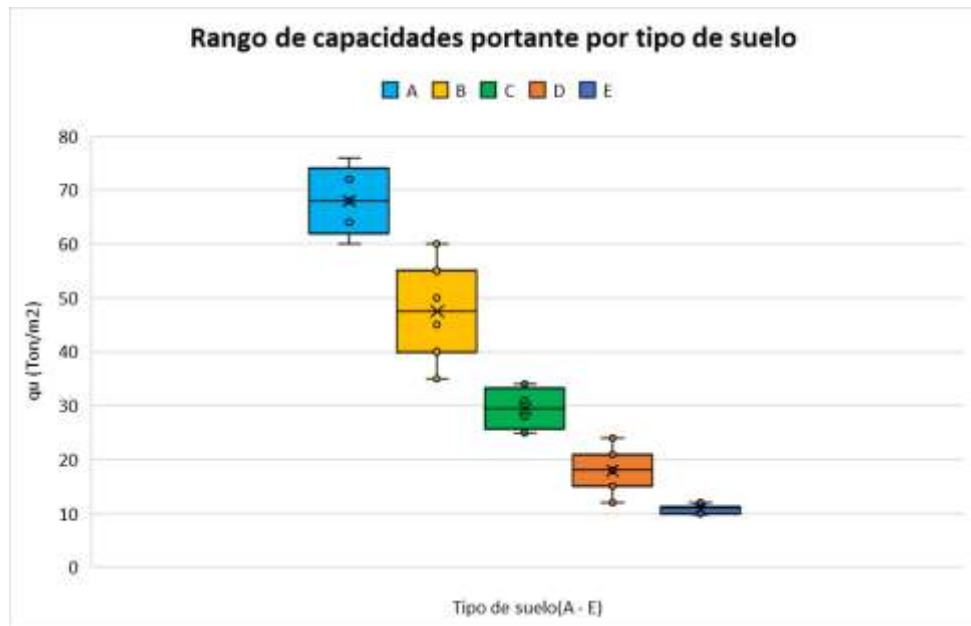
5.2 Análisis de costos

Una vez analizadas las diferentes relaciones geométricas, se procederá a explicar el costo constructivo de manera general por caso de estudio.

En la **figura 35**, se muestra el rango de capacidades portantes por tipo de suelo, en este se expresan en forma de colores los diferentes tipos de suelo, los cuales, a su vez, muestran el rango de capacidad de carga propuesto para cada uno.

Figura 35

Rango de capacidades de carga para cada tipo de suelo



En la **figura 36**, se presenta la relación Altura (H) versus Costo (\$) variando la capacidad portante y el tipo de suelo (desde el tipo A al E).

Es posible notar, que para el suelo tipo E (Azul) y tipo D (Naranja), los costos no se ven representados en todo el rango de alturas (H) de muro estudiadas, esto se debe a que estos casos no cumplieron los límites de estabilidad como se explicó en la sección **5.1 Análisis comparativo de resultados**. En suelo D (Naranja), se evidencia que, desde la capacidad portante de 21 Ton/m², los costos comienzan a cumplir en el rango propuesto de alturas. Por otro lado, con respecto a los suelos (A, B y C), los costos tienden a bajar conforme la capacidad de carga aumenta; sin embargo, en el caso del suelo tipo A (Celeste), se observa que los precios se mantienen constantes en todo el rango de capacidades portantes correspondientes al mismo. Por último, se evidencia un pico de costos mayor a los demás en el suelo D, específicamente en la capacidad portante de 21 Ton/m².

Se concluye que, a medida que la capacidad portante aumenta, los precios tienden a disminuir. A su vez, conforme la altura (H) de los muros incrementa, el costo (\$) de estos aumenta también.

Figura 36

Relación Altura vs Costos para todos los tipos de suelos (A, B, C, D y E)



Los colores correspondientes a los distintos tipos de suelo son: Suelo A (Celeste), Suelo B (Amarillo), Suelo C (Verde), Suelo D (Naranja), Suelo E (Azul).

5.2.1 Porcentaje de costo por material

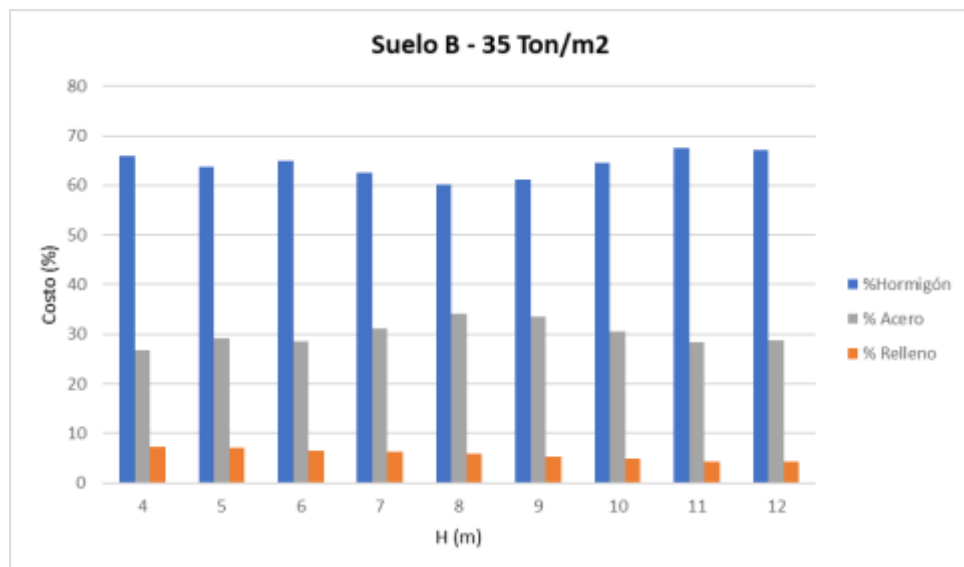
La **figura 37** representa el porcentaje del costo total de un muro en función de su altura y de sus principales materiales de construcción (Hormigón, acero y relleno) para un suelo rocoso (tipo B).

Como se muestra en la **figura 37**, el hormigón oscila entre el 60% y el 67%, lo que equivale a casi la mitad del precio total del muro. El acero, por su parte, representa entre el 26% y el 33% del precio total, es decir, casi un tercio. El relleno, en cambio, tiene un porcentaje de costo muy bajo, entre el 4% y el 7%, en comparación con los otros materiales.

En conclusión, el hormigón es el material que refleja un mayor costo en comparación a los demás, por lo que juega un papel muy importante en la construcción de los muros, pues abarca un gran volumen, el cual va en aumento conforme la altura (H) de los muros sube. Además, se observa que el porcentaje de costo asociado al relleno tiende a disminuir a medida que aumenta la altura y las secciones de los muros. Mientras que el costo del acero muestra una variación mínima ante el aumento de la altura (H) de los muros.

Figura 37

Porcentaje de precio por material para suelo tipo B



Para encontrar esta y otras gráficas de porcentajes de costos para distintos suelos y capacidades portantes, se recomienda visitar la sección de **Anexos 02**, donde se presentan tablas y gráficas correspondientes a costos y porcentajes de costos por material.

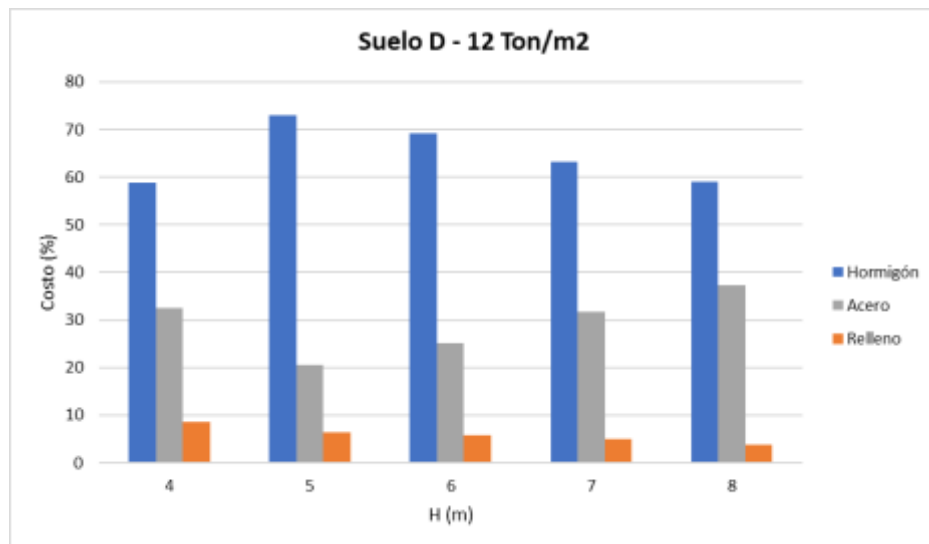
En la **figura 38**, se observa el porcentaje de precio por material de construcción para un suelo blando (Tipo D) con una capacidad de carga de 12 Ton/m².

En comparación con la **figura 37**, el hormigón sigue siendo el material predominante en cuanto al porcentaje de precios, variando entre el 59% y el 73% del total. Con respecto al acero, se aprecia que está entre el 21% y 37%, teniendo notables variaciones entre una altura y otra. Mientras que, el relleno se encuentra entre el 4% y 9%.

Esto nos indica que, en suelos blandos, el relleno y el acero juegan un papel más importante en cuanto a la cantidad necesaria de los mismos en la construcción de los muros, esto, reflejándose en el incremento del porcentaje del precio total que aumenta con respecto a lo visto anteriormente en los porcentajes de costos del suelo B.

Figura 38

Porcentaje de precio por material para suelo tipo D



Para encontrar esta y otras gráficas de porcentajes de costos para distintos suelos y capacidades portantes, se recomienda visitar la sección de **Anexos 02**, donde se presentan tablas y gráficas correspondientes a costos y porcentajes de costos por material.

5.3 Análisis de relación Demanda/Capacidad

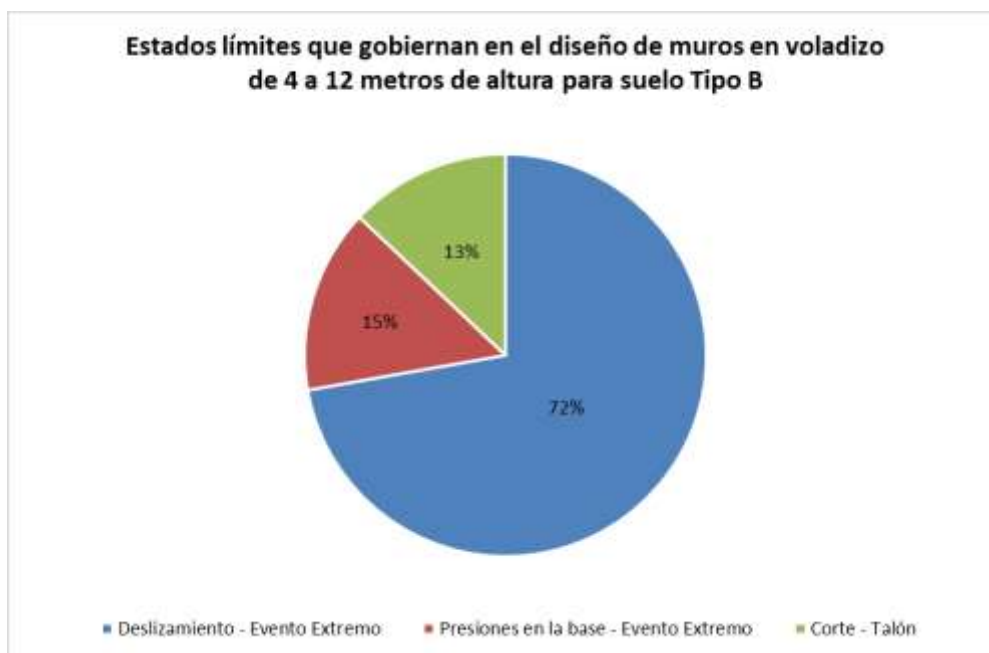
En la **figura 39**, se exponen las fallas que controlan el diseño de muros en voladizo de 4 a 12 metros de altura para suelo tipo B.

Como se puede observar en la **figura 39**, para muros en voladizos de 4 a 12 metros de altura, cimentados en suelo tipo B, la falla que controla el diseño en el 72% de las ocasiones es el deslizamiento del estado límite de Resistencia, luego le sigue presiones en la base del estado límite de Evento Extremo con 15% y, por último, el diseño a corte del talón del muro con un 13%.

Se puede inferir que, en suelos rocosos a medida que incrementa la altura del muro, las fuerzas que empujan al muro crecen, por lo que se necesitan mayores dimensiones para resistir las fuerzas de deslizamiento. Además, para suelos rocosos como el tipo B, a medida que se incrementa la altura del muro y la capacidad de carga del suelo, el estado de falla que gobierna la mayor parte del tiempo es el deslizamiento del estado límite de Resistencia.

Figura 39

Fallas que controlan el diseño de muros en voladizo de 4 a 12 metros de altura para suelo tipo B



Para encontrar esta y otras gráficas de fallas que controlan el diseño de muros en voladizo para distintos tipos de suelo, se recomienda visitar la sección de **Anexos 03**, donde se encuentran los cuadros de las relaciones demanda/capacidad y sus respectivas gráficas.

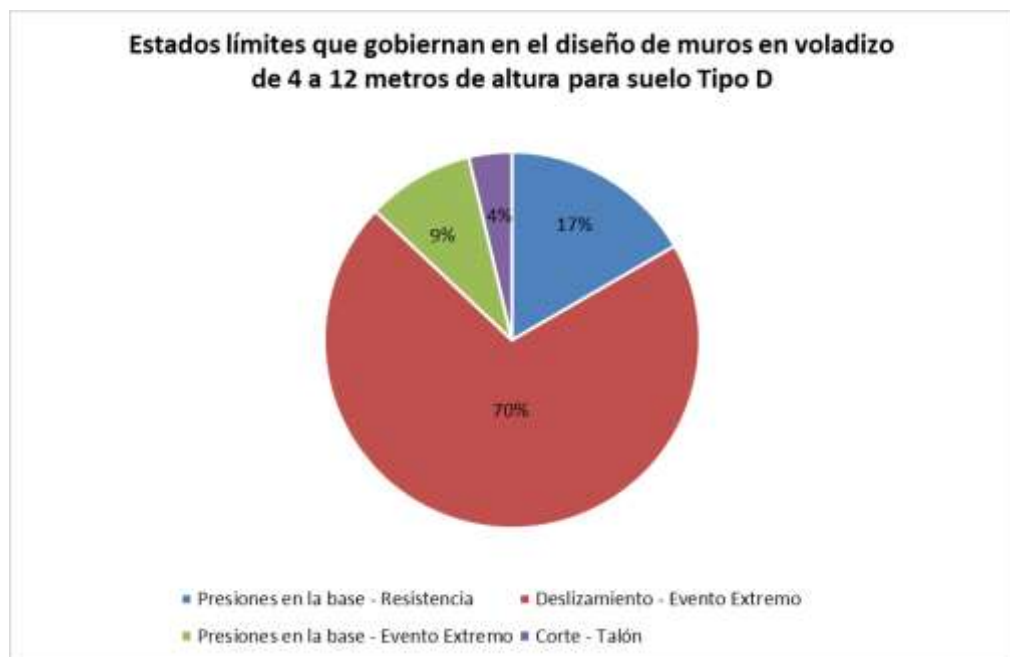
Mientras que, en la **figura 40**, se presentan los estados límites que gobiernan en el diseño de muros en voladizo de 4 a 12 metros para suelos blandos como el suelo tipo D. La falla que controla es el deslizamiento del estado límite de Evento Extremo.

En suelos blandos con capacidades portantes entre 12 y 30 Ton/m², el estado límite que gobierna en el 70% de las ocasiones es el deslizamiento para Evento Extremo. Después, le sigue presiones en la base del estado límite de Resistencia correspondiente a un 17%. En cuanto al 9 y 4% restantes, pertenecen a presiones en la base para Evento Extremo y el diseño a corte del talón, respectivamente.

Esto se produce debido a que, en suelos blandos con baja capacidad de carga, a medida que aumenta la altura del muro, el empuje del relleno incrementa, generando mayores fuerzas cortantes y de deslizamiento. Además, al tratarse de suelos con baja capacidad portante, el esfuerzo de contacto del suelo excede su resistencia última.

Figura 40

Fallas que controlan el diseño de muros en voladizo de 4 a 12 metros de altura para suelo tipo D



Para encontrar esta y otras gráficas de fallas que controlan el diseño de muros en voladizo para distintos tipos de suelo, se recomienda visitar la sección de **Anexos 03**, donde se encuentran los cuadros de las relaciones demanda/capacidad y sus respectivas gráficas.

5.4 Rango de relaciones geométricas eficientes

En la **tabla 14** se presentan las relaciones geométricas eficientes para los distintos tipos de suelos estudiados, con sus respectivas capacidades de carga para muros en voladizos con alturas de 4 a 12 metros de altura.

Se puede apreciar que para suelos rocosos (A y B) las relaciones B/H son menores en comparación a los suelos blandos (C, D y E), donde debido a la baja capacidad portante del suelo y el no considerar el uso de pilotes, a mayores alturas se requieren anchos de cimentación (B) elevados (1,20H). Los rangos de las relaciones x/B para alturas entre 4 y 6 metros se asemejan en casi todos los suelos, en cambio para alturas mayores a 7 metros en suelos blandos, la relación x/B tiende a 0, es decir el talón del muro desaparece.

Las relaciones geométricas tw/H y h1/H muestran similitudes entre suelos rocosos y blandos. En el caso de la relación tw/H es posible notar que para alturas menores (4 y 7 metros), los valores se mantienen constantes (0,05), mientras que para alturas mayores (8 metros en adelante), los rangos se encuentran entre 0,06 y 0,09. En cuanto a la relación h1/H, para todas las alturas y tipos de suelos estudiados, los rangos eficientes se encuentran entre 0,06 y 0,12.

Tabla 14

Relaciones geométricas eficientes para distintos tipos de suelos con capacidades portantes variables

Nomenclatura	Tipo de suelo				
	A	B	C	D	E
qu (Ton/m²)	60-80	35-60	25-40	12-30	10-15
B/H	0,55-0,60	0,60-0,75	0,65-0,85	0,65-1,20	0,65-1,20
x/B	0,30-0,60	0,20-0,50	0,10-0,55	0-0,55	0-0,40
tw/H	0,05-0,06	0,05-0,07	0,05-0,08	0,05-0,09	0,05-0,06
h1/H	0,06-0,09	0,06-0,10	0,07-0,12	0,06-0,12	0,05-0,10

Los rangos de predimensiomaniento eficientes mostrados anteriormente se compararán con los rangos propuestos por Anda y Herrera (2023) y Braja M. Das (2015) mostrados en la **sección 2.1.2**.

En cuanto las relaciones B/H y x/B , las mismas muestran similitudes en los tipos de suelos estudiados con los propuestos por Anda y Herrera (2023), mostrados en la **tabla 1**. En cambio, según las recomendaciones hechas por Das (2015), las cuales se observan en la **figura 3**, existen semejanzas en el rango de valores de las relaciones B/H y x/B para suelos rocosos. Sin embargo, la relación B/H , difiere en los rangos correspondientes a suelos blandos, teniendo un límite del 70% de la altura (H) para la base (B), mientras que en el presente estudio se recomienda aumentar este límite en el rango hasta el 120% de la altura (H). De igual manera la relación x/B presenta diferencias, donde el límite inferior propuesto en el estudio actual es del 0% de la base (B) para la posición de la pantalla, en contramedida con lo propuesto por Das (2015).

En el caso de las relaciones tw/H y $h1/H$, las cuales corresponden al espesor de la pantalla y la cimentación respectivamente, los resultados de Anda y Herrera (2023) se mantienen iguales para las relaciones tw/H en suelos blandos y rocosos (0,07 – 0,12) y similares para las relaciones $h1/H$. Según lo propuesto por Das (2015), el espesor de la pantalla y cimentación es de $0,10H$, el cual se encuentra en los rangos de Anda y Herrera (2023). Sin embargo, esos valores no están dentro de los resultados de este trabajo, ya que para suelos rocosos la máxima relación tw/H es 0,09, lo cual indica que las dimensiones de la pantalla son más eficientes. Las relaciones $h1/H$ son similares a las propuestas por Anda y Herrera (2023) y se encuentra en el rango por lo mostrado por Das (2015) en la **figura 3**.

Conclusiones

- Una vez analizados los resultados, se puede concluir que las relaciones geométricas B/H , t_w/H y h_1/H crecen al aumentar la altura (H) del muro y disminuir la capacidad portante del suelo. Este patrón se hizo más evidente en suelos con baja capacidad de carga como lo son los suelos tipo D y E.
- A diferencia de las otras relaciones geométricas, la relación x/B disminuye al reducirse las capacidades de carga de los suelos y al aumentarse las alturas (H) de los muros. Esto implica que, en cuanto menor sea la capacidad portante del suelo, más cerca estará la pantalla del talón. Si la capacidad portante es muy baja, el talón desaparece.
- Los costos aumentan a medida que la capacidad portante de los suelos baja, siendo en el suelo tipo D donde se hallan los mayores costos. En el suelo tipo A, los costos se mantienen constantes entre las capacidades portantes correspondientes al mismo.
- El hormigón es el material constructivo que más porcentaje del costo total abarca independientemente del caso de estudio, seguido por el acero y el relleno. Los porcentajes de costo varían muy poco entre un tipo de suelo y otro, dando como resultado que el hormigón en promedio abarca un 63% del costo total, el acero un 31% y el relleno un 6%.
- En un suelo rocoso como el tipo B con capacidades de carga entre 35-60 Ton/m², los estados límites que gobiernan el diseño de muros en voladizo de 4 a 12 metros de altura son; deslizamiento y presiones en la base por Evento Extremo y cortante en el talón del muro. En caso de

suelos blandos como el tipo D, el principal estado límite que gobierna es deslizamiento por Evento Extremo, luego le sigue presiones en la base por Resistencia y Evento Extremo y, por último, cortante en el talón.

Recomendaciones

- Evaluar los parámetros estudiados considerando otras zonas sísmicas.
- Adoptar un valor diferente a 0 para el ángulo de fricción entre el relleno y el muro (δ). Comprobar si usar valores entre 1/2 y 2/3 de δ reduce el empuje activo de suelo.
- Se sugiere realizar estudios considerando la variabilidad de la pantalla e inclinación del relleno, ya que se podría economizar volumen de hormigón.
- Para suelos blandos (C, D y E) se recomienda realizar investigaciones considerando el uso de cimentación profunda para reducir considerablemente el ancho de la cimentación (B). Además, se sugiere realizar la revisión del estado límite de servicio (asentamientos y deformaciones).
- Para economizar el acero por flexión en la pantalla del muro, se recomienda llevar a cabo estudios que evalúen la colocación de refuerzos en las zonas de mayor momento flector (el empotramiento). Verificar si este cambio altera el costo porcentual de los materiales que conforman un muro de contención en voladizo.
- Para disminuir los espesores del muro, se recomienda realizar investigaciones adicionales que tengan en cuenta el uso del diente, ya

que este puede contribuir a la resistencia al deslizamiento y, al mismo tiempo, ayudar a disminuir las dimensiones del elemento.

- El presente trabajo de titulación se enfoca únicamente en muros de retención en voladizo. Se puede considerar una metodología similar para evaluar la eficiencia de estribos de puente, para lo cual se deberán considerar la aplicación de cargas vehiculares en base al AASHTO.

Referencias

- AASHTO. (2017). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications* (8th ed.). Washington, DC, Estados Unidos: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Aguay, H. N., & Dranichnikov, T. (2012). Cálculo de capacidad portante basado en geofísica y método convencional. *El caso del puente sobre el río Maicito*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. Obtenido de file:///C:/Users/exere/OneDrive-Universidad-Catolica-Santiago-de-Guayaquil/Documentos/Universidad/9no-semester/Tesis/Referencias/calculo-de-capacidad-portante-basado-en-geofisica-y-metodo-convencional.pdf
- Anda, J., & Herrera, J. (2023). *Evaluación de la Eficiencia de Muros de Contención en Función de sus Propiedades Geométricas*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Ballón, A., & Echenique, J. (2017). *Análisis de estabilidad de muros de contención de acuerdo a las zonas sísmicas del Perú*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/621687>
- Boixader, D. (2015). *Estructurando*. Obtenido de Tipos de empujes a considerar sobre una estructura de contención: <https://estructurando.net/2015/06/29/tipos-empujes-considerar-una-estructura-contencion/>
- Byond Canarias. (2013). *Byond*. Obtenido de <https://www.byond.es/blog/muros-contencion/>
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (4ta ed.). México: Cengage Learning. Obtenido de <https://www.geologiaviva.info/wp-content/uploads/2022/01/fundamentos-de-ingenieria-geotecnica-BMD.pdf>

- De la Cruz, R., & Silva, J. (2022). *“Estudio de Mecánica de Suelos para diseño de muro de contención en el Pasaje La Paz – AAHH Rafael Chacón – Villa María del Triunfo – Lima”*. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú. Obtenido de https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12759/9670/T046_70657370_71481831_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Evans, B. (2023). *Retaining Wall Solutions*. Obtenido de Retaining wall safe excavation slope: <https://retainingwallsolutions.co.uk/construction/retaining-wall-safe-excavation-slope/>
- García, C. (2020). *Diseño Geotécnico de Muros de Contención*. Zacatenco, México: Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura U Z.
- Harmsen, T. E. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado* (3ra ed.). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/disenodeestructurasdeconcreto-harmsen.pdf>
- Lucero, F., Pachacama, E., & Rodríguez, W. (2012). *Análisis y diseño de muros de contención*. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- NEC . (2015). Peligro sísmico diseño sismo resistente. En E. D. Valencia, *Peligro sísmico diseño sismo resistente* (págs. 27-32). Guayaquil: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- Rodríguez, A. (2022). *Puentes con AASHTO LRFD 2020 (9th Edition)*. Perú. Obtenido de file:///C:/Users/W10/Documents/Tesis/puentes.con.AASHTO.LRFD.2020.9th.Edition_Arturo.Rodriguez.Serquen.pdf

Rodríguez, J. (2021). *Métodos y propiedades mecánicas de los suelos*. Universidad Santiago Antúnezde Mayolo, Huaraz, Perú. Obtenido de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-santiago-antunez-de-mayolo/mecanica-de-suelos-ii/informe-01-suelos-2/57535217>

ANEXOS 01

Tabla 15

Relaciones geométricas eficientes para suelo Tipo A

Suelo Tipo A						
qu (Ton/m2)	Altura (m)	B/H	x/B	tw/H	h1/H	Costo (\$)
60	4	0,55	0,60	0,05	0,06	579,75
	5	0,55	0,55	0,05	0,07	946,55
	6	0,55	0,55	0,05	0,07	1410,43
	7	0,55	0,55	0,05	0,07	1993,01
	8	0,55	0,50	0,06	0,07	2713,20
	9	0,55	0,45	0,06	0,08	3572,64
	10	0,55	0,45	0,06	0,08	4547,95
	11	0,55	0,45	0,06	0,09	5733,48
	12	0,60	0,30	0,06	0,08	7242,93
64	4	0,55	0,60	0,05	0,06	579,75
	5	0,55	0,55	0,05	0,07	946,55
	6	0,55	0,55	0,05	0,07	1410,43
	7	0,55	0,55	0,05	0,07	1993,01
	8	0,55	0,50	0,06	0,07	2713,20
	9	0,55	0,45	0,06	0,08	3572,64
	10	0,55	0,45	0,06	0,08	4547,95
	11	0,55	0,45	0,06	0,09	5733,48
	12	0,55	0,45	0,06	0,09	7017,77
68	4	0,55	0,60	0,05	0,06	579,75
	5	0,55	0,55	0,05	0,07	946,55
	6	0,55	0,55	0,05	0,07	1410,43
	7	0,55	0,55	0,05	0,07	1993,01
	8	0,55	0,50	0,06	0,07	2713,20
	9	0,55	0,45	0,06	0,08	3572,64
	10	0,55	0,45	0,06	0,08	4547,95
	11	0,55	0,45	0,06	0,09	5733,48
	12	0,55	0,45	0,06	0,09	7017,77
72	4	0,55	0,60	0,05	0,06	579,75
	5	0,55	0,55	0,05	0,07	946,55
	6	0,55	0,55	0,05	0,07	1410,43
	7	0,55	0,55	0,05	0,07	1993,01
	8	0,55	0,50	0,06	0,07	2713,20
	9	0,55	0,45	0,06	0,08	3572,64
	10	0,55	0,45	0,06	0,08	4547,95
	11	0,55	0,45	0,06	0,09	5733,48
	12	0,55	0,45	0,06	0,09	7017,77
76	4	0,55	0,60	0,05	0,06	579,75
	5	0,55	0,55	0,05	0,07	946,55
	6	0,55	0,55	0,05	0,07	1410,43

	7	0,55	0,55	0,05	0,07	1993,01
	8	0,55	0,50	0,06	0,07	2713,20
	9	0,55	0,45	0,06	0,08	3572,64
	10	0,55	0,45	0,06	0,08	4547,95
	11	0,55	0,45	0,06	0,09	5733,48
	12	0,55	0,45	0,06	0,09	7017,77
80	4	0,55	0,60	0,05	0,06	579,75
	5	0,55	0,55	0,05	0,07	946,55
	6	0,55	0,55	0,05	0,07	1410,43
	7	0,55	0,55	0,05	0,07	1993,01
	8	0,55	0,50	0,06	0,07	2713,20
	9	0,55	0,45	0,06	0,08	3572,64
	10	0,55	0,45	0,06	0,08	4547,95
	11	0,55	0,45	0,06	0,09	5733,48
	12	0,55	0,45	0,06	0,09	7017,77

Tabla 16

Relaciones geométricas eficientes para suelo Tipo B

Suelo Tipo B						
qu (Ton/m2)	Altura (m)	B/H	x/B	tw/H	h1/H	Costo (\$)
35	4	0,60	0,50	0,05	0,06	625,10
	5	0,60	0,50	0,05	0,06	1014,15
	6	0,60	0,45	0,05	0,07	1531,22
	7	0,60	0,45	0,05	0,07	2173,14
	8	0,60	0,30	0,05	0,10	3080,08
	9	0,65	0,35	0,05	0,08	4086,53
	10	0,70	0,30	0,06	0,08	5388,99
	11	0,70	0,20	0,06	0,10	6925,37
	12	0,75	0,25	0,07	0,09	8779,52
40	4	0,60	0,50	0,05	0,06	625,10
	5	0,60	0,50	0,05	0,06	1014,15
	6	0,60	0,45	0,05	0,07	1531,22
	7	0,60	0,45	0,05	0,07	2173,14
	8	0,60	0,45	0,06	0,07	2962,73
	9	0,60	0,30	0,06	0,10	4029,34
	10	0,65	0,35	0,06	0,08	5174,74
	11	0,70	0,30	0,06	0,08	6734,18
	12	0,70	0,30	0,07	0,08	8290,81
45	4	0,60	0,50	0,05	0,06	625,10
	5	0,60	0,50	0,05	0,06	1014,15
	6	0,60	0,45	0,05	0,07	1531,22
	7	0,60	0,45	0,05	0,07	2173,14
	8	0,60	0,45	0,06	0,07	2962,73
	9	0,60	0,40	0,06	0,08	3900,83
	10	0,60	0,30	0,06	0,10	5112,31
	11	0,65	0,35	0,06	0,08	6463,11
	12	0,65	0,25	0,07	0,09	8058,93
50	4	0,60	0,50	0,05	0,06	625,10
	5	0,60	0,50	0,05	0,06	1014,15
	6	0,60	0,45	0,05	0,07	1531,22
	7	0,60	0,45	0,05	0,07	2173,14
	8	0,60	0,45	0,06	0,07	2962,73
	9	0,60	0,40	0,06	0,08	3900,83
	10	0,60	0,40	0,06	0,08	4969,94
	11	0,60	0,35	0,06	0,09	6256,97
	12	0,65	0,30	0,07	0,08	7936,28
55	4	0,60	0,50	0,05	0,06	625,10
	5	0,60	0,50	0,05	0,06	1014,15
	6	0,60	0,45	0,05	0,07	1531,22

	7	0,60	0,45	0,05	0,07	2173,14
	8	0,60	0,45	0,06	0,07	2962,73
	9	0,60	0,40	0,06	0,08	3900,83
	10	0,60	0,40	0,06	0,08	4969,94
	11	0,60	0,40	0,06	0,08	6205,05
	12	0,60	0,30	0,07	0,09	7730,09
60	4	0,60	0,50	0,05	0,06	625,10
	5	0,60	0,50	0,05	0,06	1014,15
	6	0,60	0,45	0,05	0,07	1531,22
	7	0,60	0,45	0,05	0,07	2173,14
	8	0,60	0,45	0,06	0,07	2962,73
	9	0,60	0,40	0,06	0,08	3900,83
	10	0,60	0,40	0,06	0,08	4969,94
	11	0,60	0,40	0,06	0,08	6205,05
	12	0,60	0,35	0,07	0,08	7613,66

Tabla 17

Relaciones geométricas eficientes para suelo Tipo C

Suelo Tipo C						
qu (Ton/m2)	Altura (m)	B/H	x/B	tw/H	h1/H	Costo (\$)
25	4	0,65	0,55	0,05	0,07	695,95
	5	0,70	0,50	0,05	0,07	1164,21
	6	0,70	0,45	0,06	0,07	1746,73
	7	0,70	0,40	0,05	0,09	2526,00
	8	0,75	0,40	0,06	0,08	3513,84
	9	0,75	0,35	0,06	0,09	4634,92
	10	0,80	0,20	0,06	0,11	6359,51
	11	0,80	0,20	0,06	0,11	7916,78
	12	0,85	0,10	0,07	0,12	10346,01
28	4	0,65	0,55	0,05	0,07	695,95
	5	0,65	0,55	0,05	0,07	1127,74
	6	0,70	0,45	0,06	0,07	1746,73
	7	0,70	0,45	0,05	0,08	2503,40
	8	0,75	0,40	0,06	0,08	3513,84
	9	0,75	0,35	0,06	0,09	4634,92
	10	0,75	0,35	0,06	0,09	5910,96
	11	0,80	0,20	0,06	0,11	7916,78
	12	0,80	0,15	0,08	0,11	9815,53
31	4	0,65	0,55	0,05	0,07	695,95
	5	0,65	0,55	0,05	0,07	1127,74
	6	0,65	0,45	0,06	0,09	1745,54
	7	0,70	0,45	0,05	0,08	2503,40
	8	0,70	0,45	0,06	0,08	3390,36
	9	0,75	0,35	0,06	0,09	4634,92
	10	0,75	0,35	0,06	0,09	5910,96
	11	0,75	0,30	0,07	0,09	7364,29
	12	0,80	0,15	0,08	0,11	9815,53
34	4	0,65	0,55	0,05	0,07	695,95
	5	0,65	0,55	0,05	0,07	1127,74
	6	0,65	0,50	0,05	0,08	1701,07
	7	0,70	0,45	0,05	0,08	2503,40
	8	0,70	0,45	0,06	0,08	3390,36
	9	0,70	0,40	0,07	0,08	4457,53
	10	0,75	0,35	0,06	0,09	5910,96
	11	0,75	0,30	0,07	0,09	7364,29
	12	0,75	0,30	0,07	0,09	9004,22
37	4	0,65	0,55	0,05	0,07	695,95
	5	0,65	0,55	0,05	0,07	1127,74
	6	0,65	0,50	0,05	0,08	1701,07
	7	0,65	0,45	0,05	0,09	2432,59
	8	0,70	0,45	0,06	0,08	3390,36

	9	0,70	0,40	0,07	0,08	4457,53
	10	0,70	0,40	0,06	0,09	5693,57
	11	0,75	0,30	0,07	0,09	7364,29
	12	0,75	0,30	0,07	0,09	9004,22
40	4	0,65	0,55	0,05	0,07	695,95
	5	0,65	0,55	0,05	0,07	1127,74
	6	0,65	0,50	0,05	0,08	1701,07
	7	0,65	0,50	0,05	0,08	2412,73
	8	0,70	0,45	0,06	0,08	3390,36
	9	0,70	0,40	0,07	0,08	4457,53
	10	0,70	0,40	0,06	0,09	5693,57
	11	0,70	0,35	0,07	0,09	7085,81
	12	0,75	0,30	0,07	0,09	9004,22

Tabla 18

Relaciones geométricas eficientes para suelo Tipo D

Suelo Tipo D						
qu (Ton/m2)	Altura (m)	B/H	x/B	tw/H	h1/H	Costo (\$)
12	4	0,75	0,45	0,05	0,06	738,89
	5	0,80	0,20	0,06	0,10	1354,77
	6	0,85	0,15	0,05	0,11	2122,94
	7	1,00	0,10	0,05	0,10	3320,01
	8	1,20	0,00	0,06	0,10	5579,40
15	4	0,70	0,50	0,05	0,06	714,64
	5	0,75	0,40	0,05	0,07	1203,75
	6	0,80	0,20	0,06	0,10	2006,63
	7	0,80	0,20	0,06	0,10	2814,02
	8	0,90	0,10	0,06	0,11	4225,91
	9	1,05	0,05	0,06	0,10	6252,68
18	4	0,70	0,50	0,05	0,06	714,64
	5	0,70	0,45	0,05	0,07	1163,22
	6	0,75	0,40	0,05	0,07	1810,58
	7	0,75	0,35	0,06	0,07	2560,07
	8	0,80	0,20	0,06	0,10	3787,28
	9	0,85	0,15	0,05	0,11	5287,48
	10	0,95	0,10	0,06	0,10	7209,03
21	4	0,65	0,55	0,05	0,06	691,24
	5	0,70	0,45	0,05	0,07	1163,22
	6	0,70	0,45	0,05	0,07	1748,83
	7	0,75	0,35	0,06	0,07	2560,07
	8	0,75	0,35	0,06	0,07	3472,94
	9	0,80	0,20	0,06	0,10	4938,91
	10	0,85	0,15	0,06	0,11	6676,29
	11	0,90	0,10	0,06	0,11	8731,18
24	4	0,65	0,55	0,05	0,06	691,24
	5	0,65	0,50	0,05	0,07	1122,60
	6	0,70	0,45	0,05	0,07	1748,83
	7	0,70	0,40	0,06	0,07	2470,90
	8	0,75	0,35	0,06	0,07	3472,94
	9	0,75	0,35	0,06	0,08	4598,76
	10	0,80	0,20	0,06	0,10	6281,98
	11	0,80	0,20	0,06	0,10	7830,12
	12	0,85	0,10	0,07	0,11	10234,81
27	4	0,65	0,55	0,05	0,06	691,24
	5	0,65	0,50	0,05	0,07	1122,60
	6	0,70	0,45	0,05	0,07	1748,83
	7	0,70	0,40	0,06	0,07	2470,90
	8	0,70	0,40	0,06	0,08	3386,46

	9	0,75	0,35	0,06	0,08	4598,76
	10	0,75	0,35	0,06	0,08	5874,14
	11	0,80	0,20	0,06	0,10	7830,12
	12	0,80	0,15	0,08	0,10	9731,19
30	4	0,65	0,55	0,05	0,06	691,24
	5	0,65	0,50	0,05	0,07	1122,60
	6	0,65	0,50	0,05	0,07	1687,04
	7	0,70	0,40	0,06	0,07	2470,90
	8	0,70	0,40	0,06	0,08	3386,46
	9	0,70	0,40	0,06	0,08	4433,48
	10	0,75	0,35	0,06	0,08	5874,14
	11	0,75	0,30	0,07	0,08	7329,49
	12	0,75	0,25	0,09	0,09	9385,08

Tabla 19*Relaciones geométricas eficientes para suelo Tipo E*

Suelo Tipo E						
qu (Ton/m2)	Altura (m)	B/H	x/B	tw/H	h1/H	Costo (\$)
10	4	0,70	0,30	0,05	0,06	678,15
	5	0,80	0,20	0,05	0,07	1202,27
	6	0,95	0,10	0,05	0,07	2075,87
	7	1,20	0,00	0,05	0,08	3978,82
11	4	0,70	0,35	0,05	0,05	674,55
	5	0,75	0,25	0,05	0,06	1141,50
	6	0,85	0,15	0,05	0,07	1885,13
	7	1,05	0,05	0,05	0,08	3320,15
12	4	0,65	0,40	0,05	0,05	649,01
	5	0,70	0,25	0,05	0,07	1109,60
	6	0,80	0,20	0,05	0,07	1803,03
	7	0,90	0,10	0,06	0,07	2854,00
	8	1,15	0,05	0,05	0,09	5039,20
13	4	0,65	0,40	0,05	0,05	649,01
	5	0,70	0,30	0,05	0,06	1089,26
	6	0,75	0,20	0,05	0,07	1728,35
	7	0,85	0,15	0,05	0,07	2681,92
	8	1,00	0,10	0,05	0,08	4264,40
14	4	0,65	0,40	0,05	0,05	649,01
	5	0,70	0,30	0,05	0,06	1089,26
	6	0,70	0,20	0,05	0,08	1687,70
	7	0,80	0,20	0,05	0,07	2559,91
	8	0,90	0,10	0,05	0,08	3884,98
	9	1,15	0,05	0,05	0,10	6715,96
15	4	0,65	0,40	0,05	0,05	649,01
	5	0,65	0,35	0,05	0,06	1046,65
	6	0,70	0,30	0,05	0,06	1632,30
	7	0,75	0,20	0,05	0,07	2451,22
	8	0,85	0,15	0,05	0,08	3687,13
	9	1,00	0,10	0,05	0,09	5671,89

Tabla 20

Ecuaciones para determinar las relaciones geométricas eficientes para cada tipo de suelo

Nomenclatura	Tipo de suelo				
	A	B	C	D	E
qu (Ton/m2)	60-80	35-60	25-40	12-30	10-15
B/H	$y = 0,0003x^2 - 0,0035x + 0,561$	$y = 0,0001x^3 - 0,0008x^2 - 0,0015x + 0,6136$	$y = 0,0171x + 0,5726$	$y = -0,003x^2 + 0,0686x + 0,4425$	$y = 0,0032x^2 + 0,0444x + 0,4287$
x/B	$y = -0,0001x^3 + 0,0029x^2 - 0,0194x + 0,0887$	$y = 0,6954e^{-0,069x}$	$y = -0,0022x^2 - 0,0059x + 0,6098$	$y = -0,329\ln(x) + 0,9647$	$y = -0,403\ln(x) + 0,9227$
Tw/H	$y = -0,0217x + 0,6761$	$y = 0,0023x + 0,0379$	$y = 0,0028x + 0,0364$	$y = 0,0002x^2 - 0,0012x + 0,0516$	$y = 0,0489x^{0,0162}$
h1/H	$y = 0,0034x + 0,0483$	$y = 0,0352x^{0,3664}$	$y = 0,0575e^{0,0465x}$	$y = 0,0341x^{0,4439}$	$y = 0,0346e^{0,1109x}$

Figura 41

Relación Base/Altura (B/H) para suelo tipo A



Figura 42

Relación Posición de pantalla/Base (x/B) para suelo tipo A

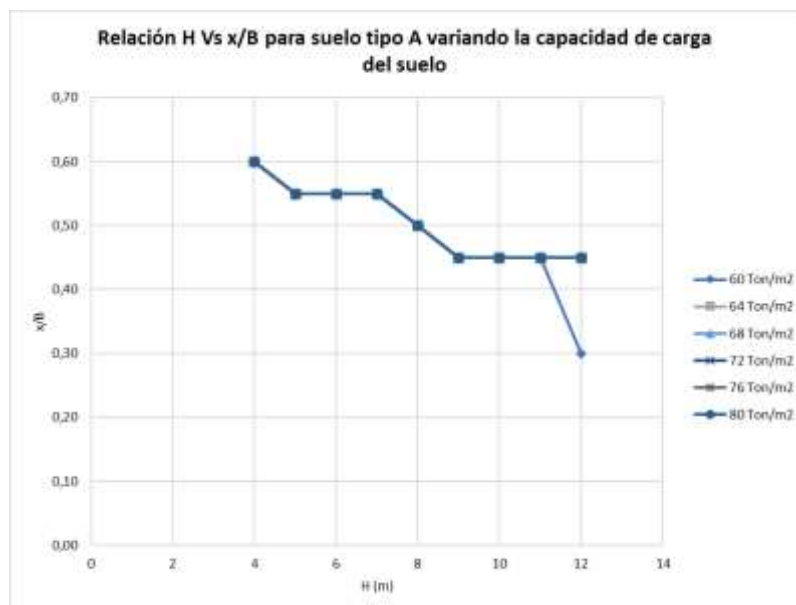


Figura 43

Relación Espesor de pantalla/Altura (t_w/H) para suelo tipo A



Figura 44

Relación Espesor de base/Altura (h_1/H) para suelo tipo A

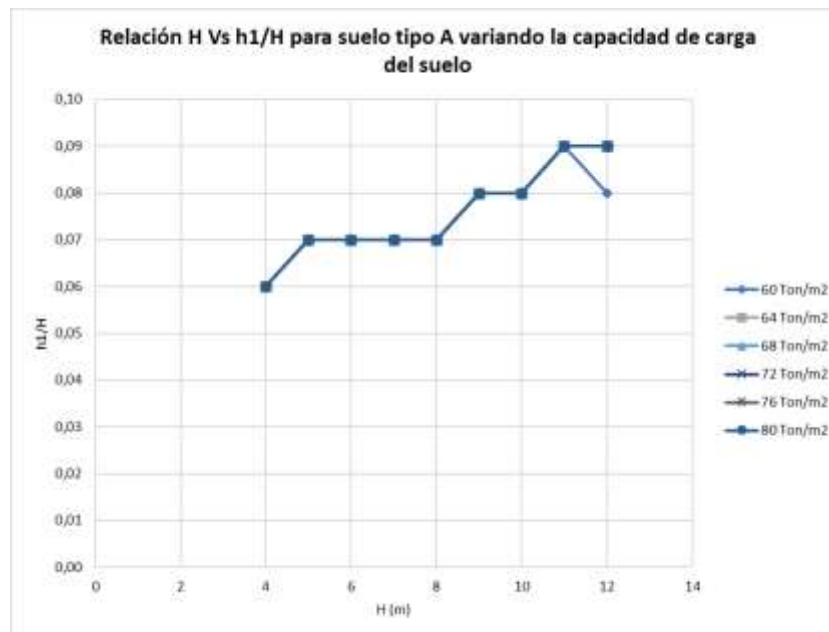


Figura 45

Relación Base/Altura (B/H) para suelo tipo C

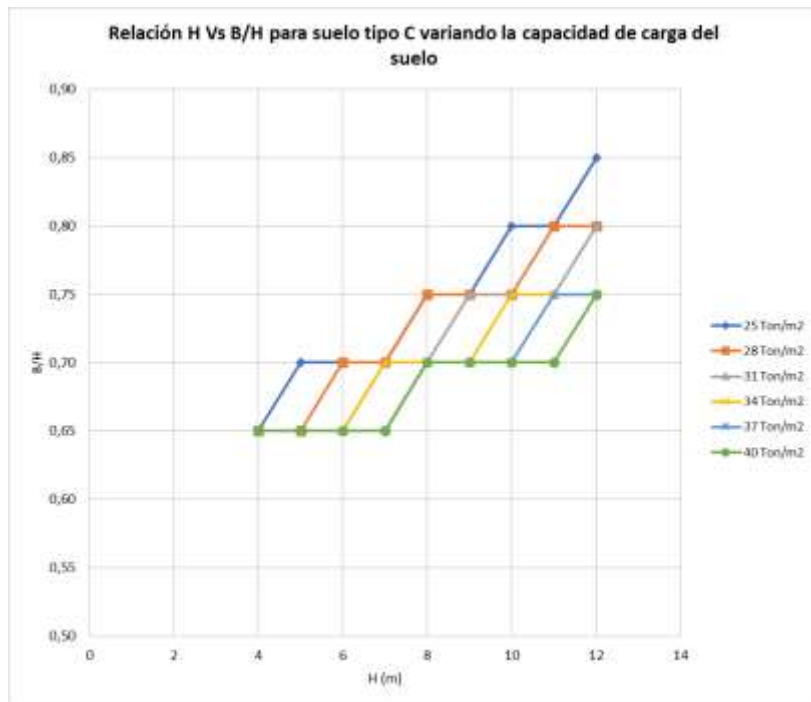


Figura 46

Relación Posición de pantalla/Base (x/B) para suelo tipo C

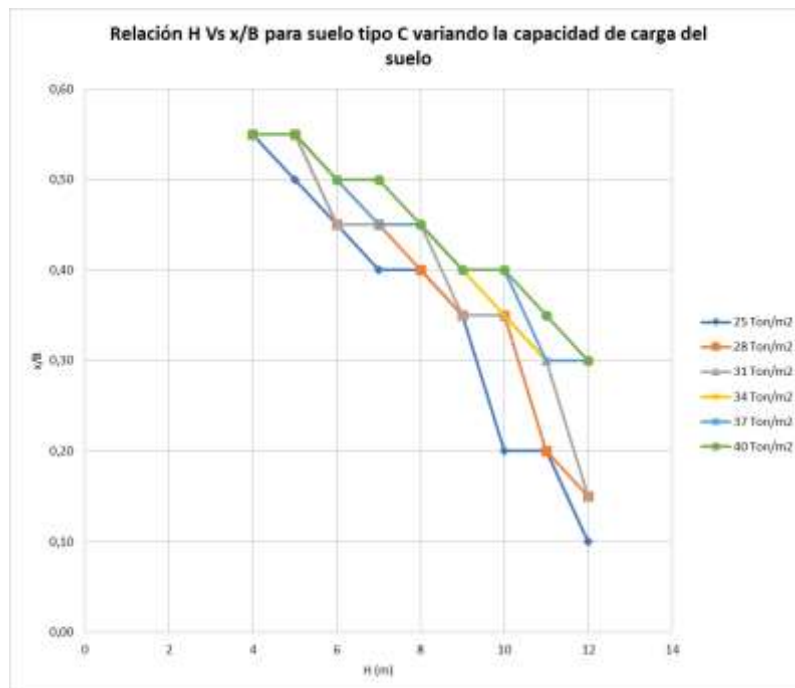


Figura 47

Relación Espesor de pantalla/Altura (tw/H) para suelo tipo C

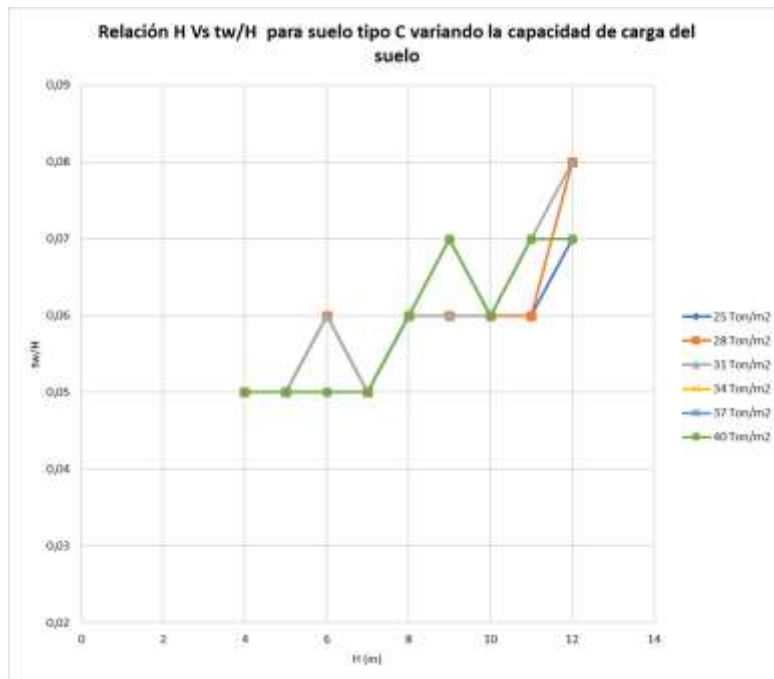


Figura 48

Relación Espesor de base/Altura (h1/H) para suelo tipo C

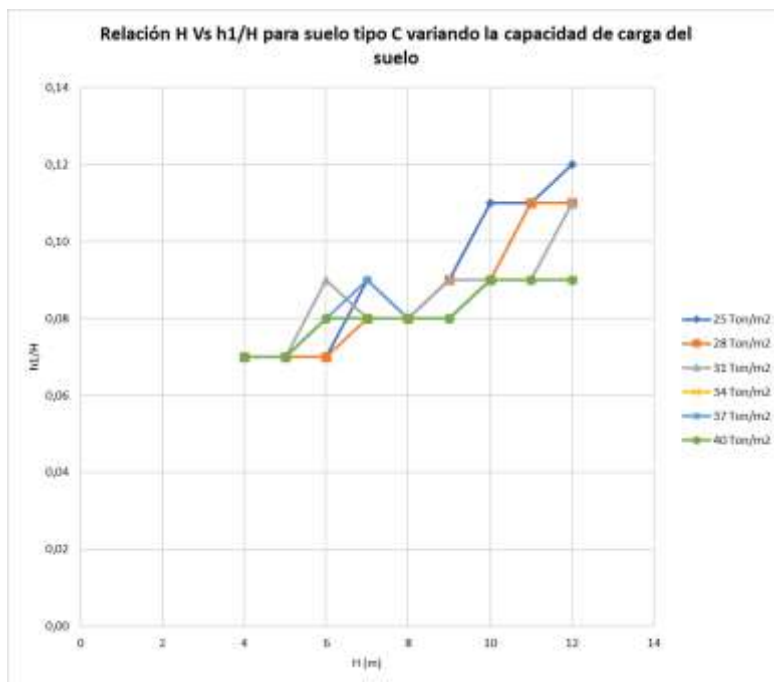


Figura 49

Relación Base/Altura (B/H) para suelo tipo C

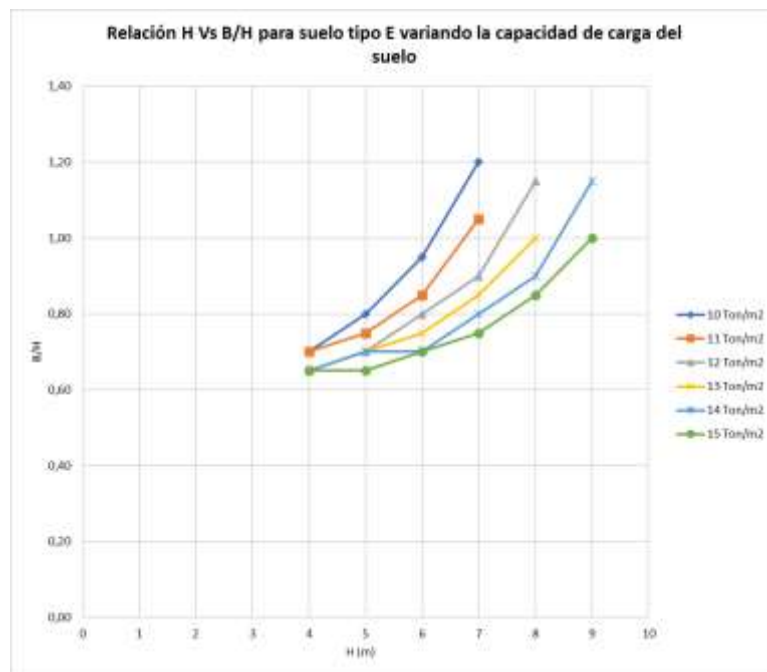


Figura 50

Relación Posición de pantalla/Base (x/B) para suelo tipo E

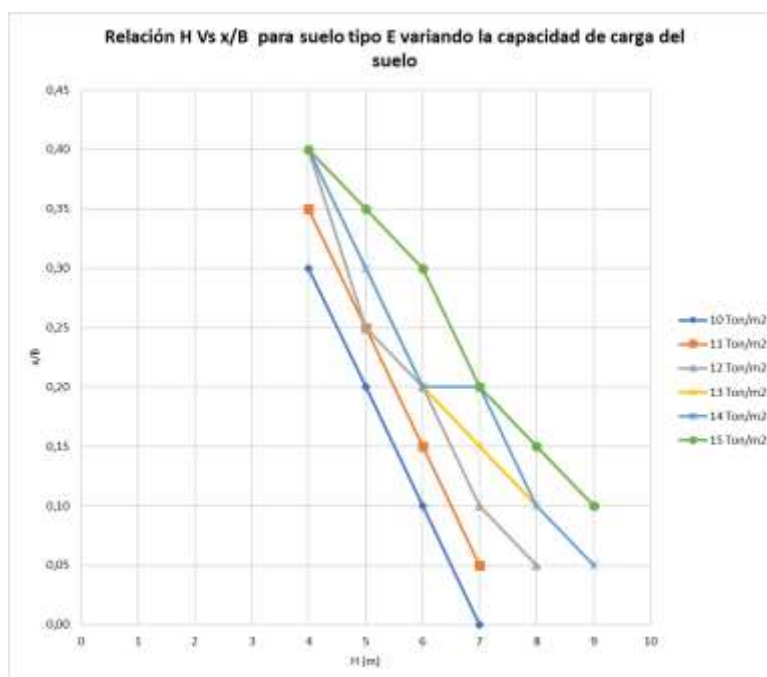


Figura 51

Relación Espesor de pantalla/Altura (tw/H) para suelo tipo E

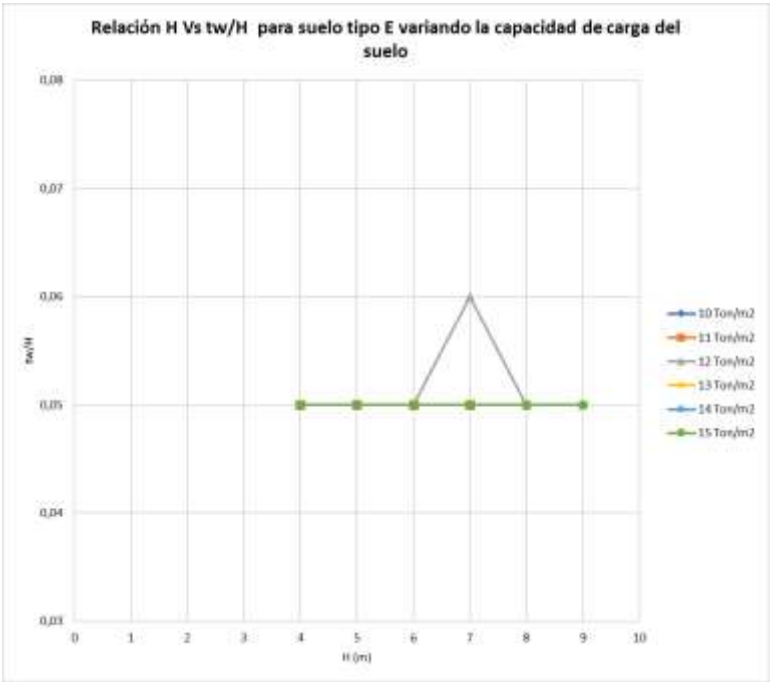
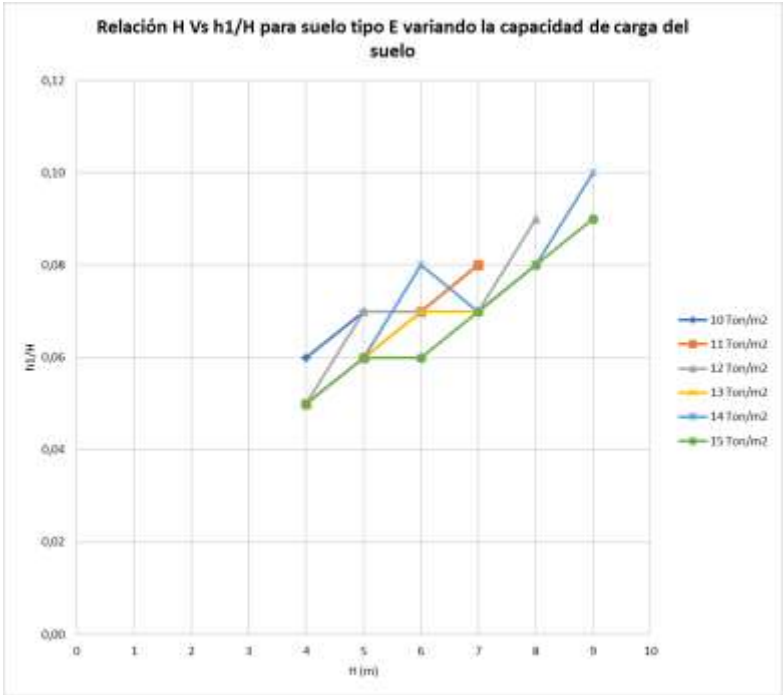


Figura 52

Relación Espesor de base/Altura (h1/H) para suelo tipo E



ANEXOS 02

Figura 53

Relación Altura (H) vs Costo (\$) para un suelo tipo A

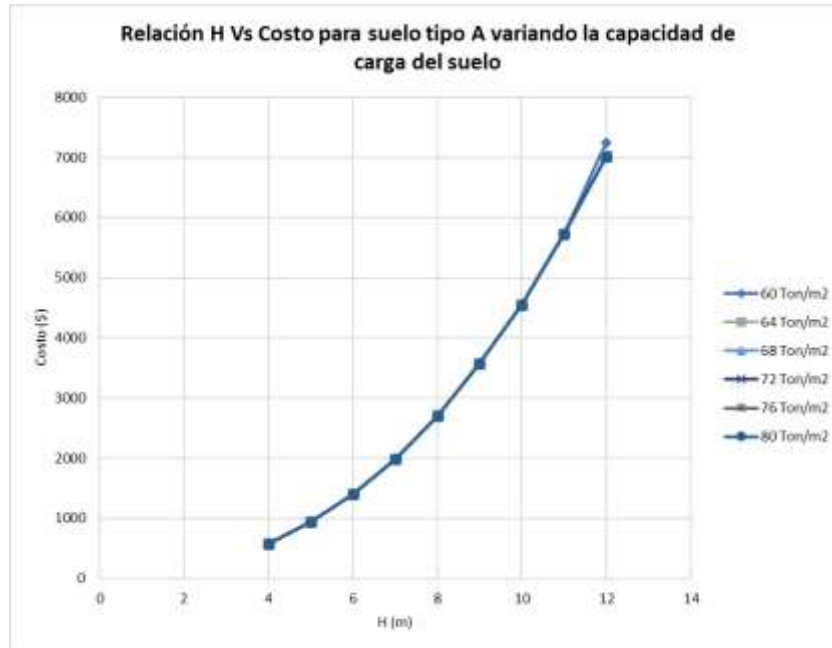


Figura 54

Relación Altura (H) vs Costo (\$) para un suelo tipo B

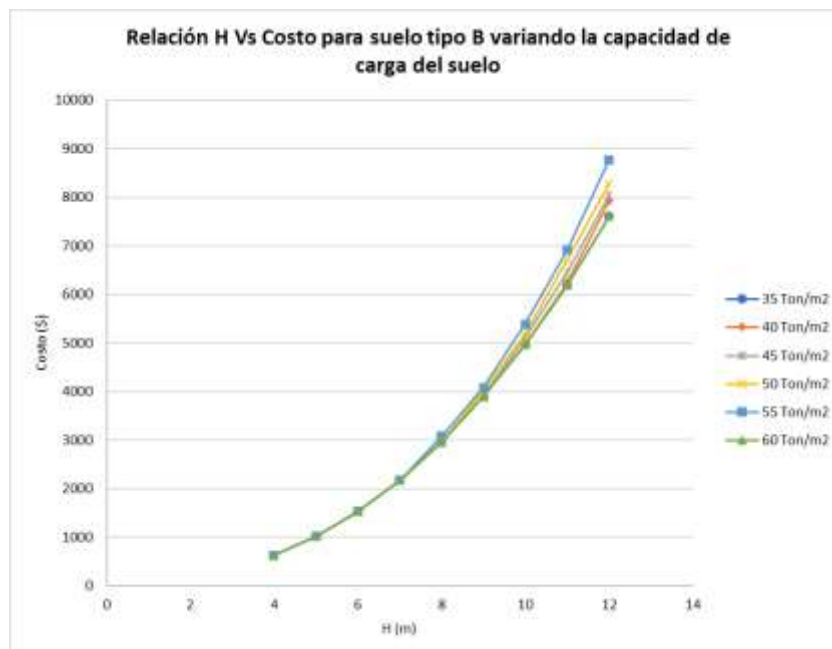


Figura 55

Relación Altura (H) vs Costo (\$) para un suelo tipo C

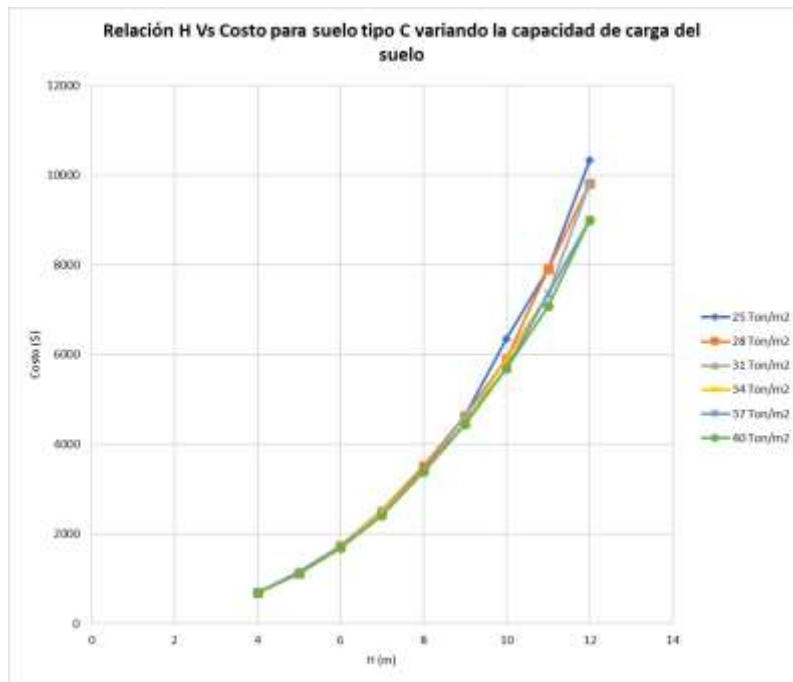


Figura 56

Relación Altura (H) vs Costo (\$) para un suelo tipo D

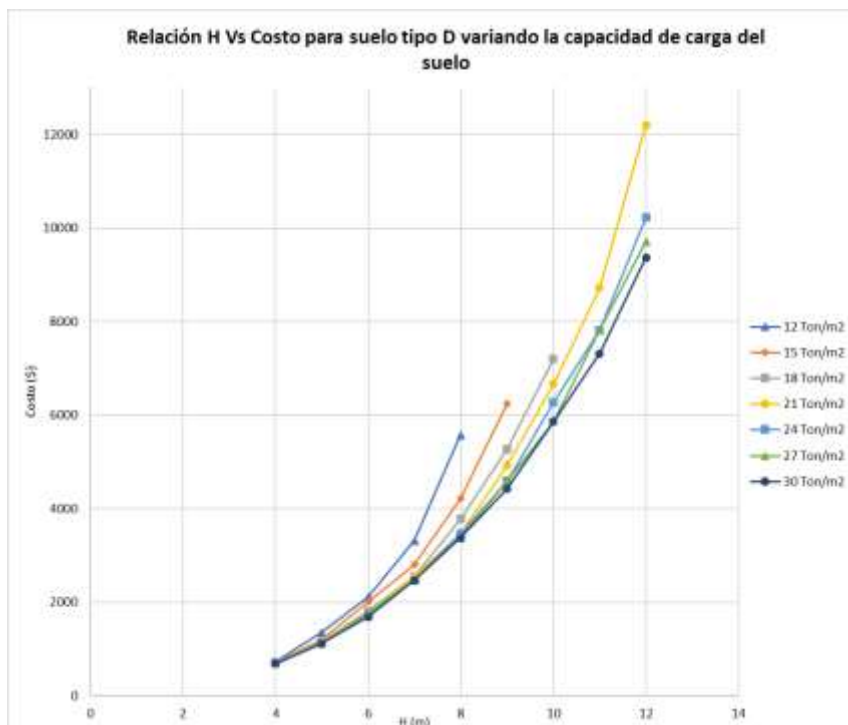


Figura 57

Relación Altura (H) vs Costo (\$) para un suelo tipo E

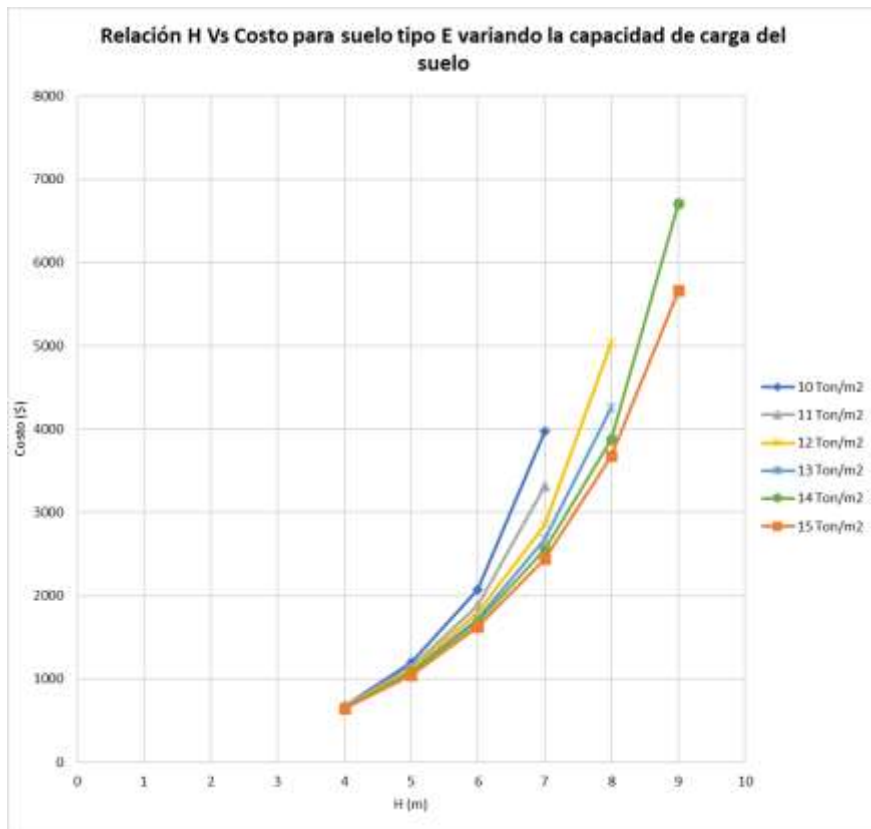


Tabla 21

Costos de muros para suelo tipo A variando la capacidad de carga del suelo

Suelo Tipo A								
qu (Ton/m2)	Altura (m)	Base (m)	x (m)	tw (m)	h1 (m)	Hormigón (%)	Relleno (%)	Acero (%)
60	4	2,20	1,32	0,20	0,24	65	4	31
	5	2,75	1,51	0,25	0,35	66	4	30
	6	3,30	1,81	0,30	0,42	64	3	33
	7	3,85	2,12	0,35	0,49	62	3	35
	8	4,40	2,20	0,48	0,56	66	3	31
	9	4,95	2,23	0,54	0,72	66	3	31
	10	5,50	2,48	0,60	0,80	64	3	33
	11	6,05	2,72	0,66	0,99	65	2	33
	12	7,20	2,16	0,72	0,96	61	2	38
64	4	2,20	1,32	0,20	0,24	65	4	31
	5	2,75	1,51	0,25	0,35	66	4	30
	6	3,30	1,81	0,30	0,42	64	3	33
	7	3,85	2,12	0,35	0,49	62	3	35
	8	4,40	2,20	0,48	0,56	66	3	31
	9	4,95	2,23	0,54	0,72	66	3	31
	10	5,50	2,48	0,60	0,80	64	3	33
	11	6,05	2,72	0,66	0,99	65	2	33
	12	6,60	2,97	0,72	1,08	63	2	35
68	4	2,20	1,32	0,20	0,24	65	4	31
	5	2,75	1,51	0,25	0,35	66	4	30
	6	3,30	1,81	0,30	0,42	64	3	33
	7	3,85	2,12	0,35	0,49	62	3	35
	8	4,40	2,20	0,48	0,56	66	3	31
	9	4,95	2,23	0,54	0,72	66	3	31
	10	5,50	2,48	0,60	0,80	64	3	33
	11	6,05	2,72	0,66	0,99	65	2	33
	12	6,60	2,97	0,72	1,08	63	2	35
72	4	2,20	1,32	0,20	0,24	65	4	31
	5	2,75	1,51	0,25	0,35	66	4	30
	6	3,30	1,81	0,30	0,42	64	3	33
	7	3,85	2,12	0,35	0,49	62	3	35
	8	4,40	2,20	0,48	0,56	66	3	31
	9	4,95	2,23	0,54	0,72	66	3	31
	10	5,50	2,48	0,60	0,80	64	3	33
	11	6,05	2,72	0,66	0,99	65	2	33
	12	6,60	2,97	0,72	1,08	63	2	35
76	4	2,20	1,32	0,20	0,24	65	4	31
	5	2,75	1,51	0,25	0,35	66	4	30
	6	3,30	1,81	0,30	0,42	64	3	33
	7	3,85	2,12	0,35	0,49	62	3	35

	8	4,40	2,20	0,48	0,56	66	3	31
	9	4,95	2,23	0,54	0,72	66	3	31
	10	5,50	2,48	0,60	0,80	64	3	33
	11	6,05	2,72	0,66	0,99	65	2	33
	12	6,60	2,97	0,72	1,08	63	2	35
80	4	2,20	1,32	0,20	0,24	65	4	31
	5	2,75	1,51	0,25	0,35	66	4	30
	6	3,30	1,81	0,30	0,42	64	3	33
	7	3,85	2,12	0,35	0,49	62	3	35
	8	4,40	2,20	0,48	0,56	66	3	31
	9	4,95	2,23	0,54	0,72	66	3	31
	10	5,50	2,48	0,60	0,80	64	3	33
	11	6,05	2,72	0,66	0,99	65	2	33
	12	6,60	2,97	0,72	1,08	63	2	35

Tabla 22

Costos de muros para suelo tipo B variando la capacidad de carga del suelo

Suelo Tipo B								
qu (Ton/m2)	Altura (m)	Base (m)	x (m)	tw (m)	h1 (m)	Hormigón (%)	Relleno (%)	Acero (%)
35	4	2,40	1,20	0,20	0,24	63	7	30
	5	3,00	1,50	0,25	0,30	60	7	33
	6	3,60	1,62	0,30	0,42	61	6	32
	7	4,20	1,89	0,35	0,49	59	6	35
	8	4,80	1,44	0,40	0,80	64	5	31
	9	5,85	2,05	0,45	0,72	57	5	38
	10	7,00	2,10	0,60	0,80	61	5	34
	11	7,70	1,54	0,66	1,10	64	4	32
	12	9,00	2,25	0,84	1,08	63	4	32
40	4	2,40	1,20	0,20	0,24	63	7	30
	5	3,00	1,50	0,25	0,30	60	7	33
	6	3,60	1,62	0,30	0,42	61	6	32
	7	4,20	1,89	0,35	0,49	59	6	35
	8	4,80	2,16	0,48	0,56	62	6	32
	9	5,40	1,62	0,54	0,90	68	5	28
	10	6,50	2,27	0,60	0,80	61	5	34
	11	7,70	2,31	0,66	0,88	59	5	36
	12	8,40	2,52	0,84	0,96	62	4	34
45	4	2,40	1,20	0,20	0,24	63	7	30
	5	3,00	1,50	0,25	0,30	60	7	33
	6	3,60	1,62	0,30	0,42	61	6	32
	7	4,20	1,89	0,35	0,49	59	6	35
	8	4,80	2,16	0,48	0,56	62	6	32
	9	5,40	2,16	0,54	0,72	63	5	31
	10	6,00	1,80	0,60	1,00	66	5	30
	11	7,15	2,50	0,66	0,88	59	5	36
	12	7,80	1,95	0,84	1,08	64	4	31
50	4	2,40	1,20	0,20	0,24	63	7	30
	5	3,00	1,50	0,25	0,30	60	7	33
	6	3,60	1,62	0,30	0,42	61	6	32
	7	4,20	1,89	0,35	0,49	59	6	35
	8	4,80	2,16	0,48	0,56	62	6	32
	9	5,40	2,16	0,54	0,72	63	5	31
	10	6,00	2,40	0,60	0,80	61	5	34
	11	6,60	2,31	0,66	0,99	62	5	33
	12	7,80	2,34	0,84	0,96	62	4	33
55	4	2,40	1,20	0,20	0,24	63	7	30
	5	3,00	1,50	0,25	0,30	60	7	33
	6	3,60	1,62	0,30	0,42	61	6	32
	7	4,20	1,89	0,35	0,49	59	6	35

	8	4,80	2,16	0,48	0,56	62	6	32
	9	5,40	2,16	0,54	0,72	63	5	31
	10	6,00	2,40	0,60	0,80	61	5	34
	11	6,60	2,64	0,66	0,88	59	5	36
	12	7,20	2,16	0,84	1,08	65	4	31
60	4	2,40	1,20	0,20	0,24	63	7	30
	5	3,00	1,50	0,25	0,30	60	7	33
	6	3,60	1,62	0,30	0,42	61	6	32
	7	4,20	1,89	0,35	0,49	59	6	35
	8	4,80	2,16	0,48	0,56	62	6	32
	9	5,40	2,16	0,54	0,72	63	5	31
	10	6,00	2,40	0,60	0,80	61	5	34
	11	6,60	2,64	0,66	0,88	59	5	36
	12	7,20	2,52	0,84	0,96	63	5	33

Tabla 23

Costos de muros para suelo tipo C variando la capacidad de carga del suelo

Suelo Tipo C								
qu (Ton/m2)	Altura (m)	Base (m)	x (m)	tw (m)	h1 (m)	Hormigón (%)	Relleno (%)	Acero (%)
25	4	2,60	1,43	0,20	0,28	62	7	30
	5	3,50	1,75	0,25	0,35	60	7	32
	6	4,20	1,89	0,36	0,42	64	7	30
	7	4,90	1,96	0,35	0,63	62	6	32
	8	6,00	2,40	0,48	0,64	62	6	32
	9	6,75	2,36	0,54	0,81	63	5	32
	10	8,00	1,60	0,60	1,10	66	4	30
	11	8,80	1,76	0,66	1,21	64	4	32
	12	10,20	1,02	0,84	1,44	67	4	29
28	4	2,60	1,43	0,20	0,28	62	7	30
	5	3,25	1,79	0,25	0,35	60	7	33
	6	4,20	1,89	0,36	0,42	64	7	30
	7	4,90	2,21	0,35	0,56	59	6	35
	8	6,00	2,40	0,48	0,64	62	6	32
	9	6,75	2,36	0,54	0,81	63	5	32
	10	7,50	2,62	0,60	0,90	61	5	34
	11	8,80	1,76	0,66	1,21	64	4	32
	12	9,60	1,44	0,96	1,32	69	4	27
31	4	2,60	1,43	0,20	0,28	62	7	30
	5	3,25	1,79	0,25	0,35	60	7	33
	6	3,90	1,75	0,36	0,54	69	6	25
	7	4,90	2,21	0,35	0,56	59	6	35
	8	5,60	2,52	0,48	0,64	62	6	32
	9	6,75	2,36	0,54	0,81	63	5	32
	10	7,50	2,62	0,60	0,90	61	5	34
	11	8,25	2,48	0,77	0,99	64	5	32
	12	9,60	1,44	0,96	1,32	69	4	27
34	4	2,60	1,43	0,20	0,28	62	7	30
	5	3,25	1,79	0,25	0,35	60	7	33
	6	3,90	1,95	0,30	0,48	61	7	32
	7	4,90	2,21	0,35	0,56	59	6	35
	8	5,60	2,52	0,48	0,64	62	6	32
	9	6,30	2,52	0,63	0,72	65	6	30
	10	7,50	2,62	0,60	0,90	61	5	34
	11	8,25	2,48	0,77	0,99	64	5	32
	12	9,00	2,70	0,84	1,08	62	5	33
37	4	2,60	1,43	0,20	0,28	62	7	30
	5	3,25	1,79	0,25	0,35	60	7	33
	6	3,90	1,95	0,30	0,48	61	7	32
	7	4,55	2,05	0,35	0,63	62	6	32

	8	5,60	2,52	0,48	0,64	62	6	32
	9	6,30	2,52	0,63	0,72	65	6	30
	10	7,00	2,80	0,60	0,90	61	5	34
	11	8,25	2,48	0,77	0,99	64	5	32
	12	9,00	2,70	0,84	1,08	62	5	33
40	4	2,60	1,43	0,20	0,28	62	7	30
	5	3,25	1,79	0,25	0,35	60	7	33
	6	3,90	1,95	0,30	0,48	61	7	32
	7	4,55	2,27	0,35	0,56	59	6	35
	8	5,60	2,52	0,48	0,64	62	6	32
	9	6,30	2,52	0,63	0,72	65	6	30
	10	7,00	2,80	0,60	0,90	61	5	34
	11	7,70	2,69	0,77	0,99	64	5	31
	12	9,00	2,70	0,84	1,08	62	5	33

Tabla 24

Costos de muros para suelo tipo D variando la capacidad de carga del suelo

Suelo Tipo D								
qu (Ton/m2)	Altura (m)	Base (m)	x (m)	tw (m)	h1 (m)	Hormigón (%)	Relleno (%)	Acero (%)
12	4	3,00	1,35	0,20	0,24	59	9	32
	5	4,00	0,80	0,30	0,50	73	7	21
	6	5,10	0,77	0,30	0,66	69	6	25
	7	7,00	0,70	0,35	0,70	63	5	32
	8	9,60	0,00	0,48	0,80	59	4	37
15	4	2,80	1,40	0,20	0,24	59	9	32
	5	3,75	1,50	0,25	0,35	61	8	31
	6	4,80	0,96	0,36	0,60	71	6	23
	7	5,60	1,12	0,42	0,70	69	6	25
	8	7,20	0,72	0,48	0,88	68	5	27
	9	9,45	0,47	0,54	0,90	61	4	35
18	4	2,80	1,40	0,20	0,24	59	9	32
	5	3,50	1,57	0,25	0,35	61	9	31
	6	4,50	1,80	0,30	0,42	58	8	34
	7	5,25	1,84	0,42	0,49	61	7	32
	8	6,40	1,28	0,48	0,80	67	6	27
	9	7,65	1,15	0,45	0,99	62	5	32
	10	9,50	0,95	0,60	1,00	61	5	34
21	4	2,60	1,43	0,20	0,24	59	9	32
	5	3,50	1,57	0,25	0,35	61	9	31
	6	4,20	1,89	0,30	0,42	58	8	34
	7	5,25	1,84	0,42	0,49	61	7	32
	8	6,00	2,10	0,48	0,56	59	7	34
	9	7,20	1,44	0,54	0,90	65	6	29
	10	8,50	1,27	0,60	1,10	65	5	30
	11	9,90	0,99	0,66	1,21	62	5	33
24	4	2,60	1,43	0,20	0,24	59	9	32
	5	3,25	1,62	0,25	0,35	60	9	31
	6	4,20	1,89	0,30	0,42	58	8	34
	7	4,90	1,96	0,42	0,49	61	8	31
	8	6,00	2,10	0,48	0,56	59	7	34
	9	6,75	2,36	0,54	0,72	60	7	33
	10	8,00	1,60	0,60	1,00	63	6	31
	11	8,80	1,76	0,66	1,10	61	5	33
	12	10,20	1,02	0,84	1,32	65	5	31
27	4	2,60	1,43	0,20	0,24	59	9	32
	5	3,25	1,62	0,25	0,35	60	9	31
	6	4,20	1,89	0,30	0,42	58	8	34
	7	4,90	1,96	0,42	0,49	61	8	31

	8	5,60	2,24	0,48	0,64	62	7	31
	9	6,75	2,36	0,54	0,72	60	7	33
	10	7,50	2,62	0,60	0,80	58	7	36
	11	8,80	1,76	0,66	1,10	61	5	33
	12	9,60	1,44	0,96	1,20	66	5	29
30	4	2,60	1,43	0,20	0,24	59	9	32
	5	3,25	1,62	0,25	0,35	60	9	31
	6	3,90	1,95	0,30	0,42	58	8	34
	7	4,90	1,96	0,42	0,49	61	8	31
	8	5,60	2,24	0,48	0,64	62	7	31
	9	6,30	2,52	0,54	0,72	60	7	33
	10	7,50	2,62	0,60	0,80	58	7	36
	11	8,25	2,48	0,77	0,88	61	6	33
	12	9,00	2,25	1,08	1,08	68	5	27

Tabla 25

Costos de muros para suelo tipo E variando la capacidad de carga del suelo

Suelo Tipo E								
qu (Ton/m2)	Altura (m)	Base (m)	x (m)	tw (m)	h1 (m)	Hormigón (%)	Relleno (%)	Acero (%)
10	4	2,80	0,84	0,20	0,24	62	9	29
	5	4,00	0,80	0,25	0,35	63	7	30
	6	5,70	0,57	0,30	0,42	58	6	36
	7	8,40	0,00	0,35	0,56	52	4	44
11	4	2,80	0,98	0,20	0,20	58	9	33
	5	3,75	0,94	0,25	0,30	59	8	33
	6	5,10	0,77	0,30	0,42	60	7	34
	7	7,35	0,37	0,35	0,56	57	5	38
12	4	2,60	1,04	0,20	0,20	58	9	32
	5	3,50	0,88	0,25	0,35	63	8	29
	6	4,80	0,96	0,30	0,42	60	7	33
	7	6,30	0,63	0,42	0,49	60	6	34
	8	9,20	0,46	0,40	0,72	56	4	40
13	4	2,60	1,04	0,20	0,20	58	9	32
	5	3,50	1,05	0,25	0,30	60	8	31
	6	4,50	0,90	0,30	0,42	61	7	32
	7	5,95	0,89	0,35	0,49	57	6	36
	8	8,00	0,80	0,40	0,64	56	5	39
14	4	2,60	1,04	0,20	0,20	58	9	32
	5	3,50	1,05	0,25	0,30	60	8	31
	6	4,20	0,84	0,30	0,48	64	7	28
	7	5,60	1,12	0,35	0,49	58	7	35
	8	7,20	0,72	0,40	0,64	57	6	37
	9	10,35	0,52	0,45	0,90	57	4	39
15	4	2,60	1,04	0,20	0,20	58	9	32
	5	3,25	1,14	0,25	0,30	61	9	31
	6	4,20	1,26	0,30	0,36	58	8	34
	7	5,25	1,05	0,35	0,49	58	7	35
	8	6,80	1,02	0,40	0,64	58	6	36
	9	9,00	0,90	0,45	0,81	57	5	38

Figura 58

Costos de muros para suelo tipo A con una capacidad de carga de 60-80 Ton/m²

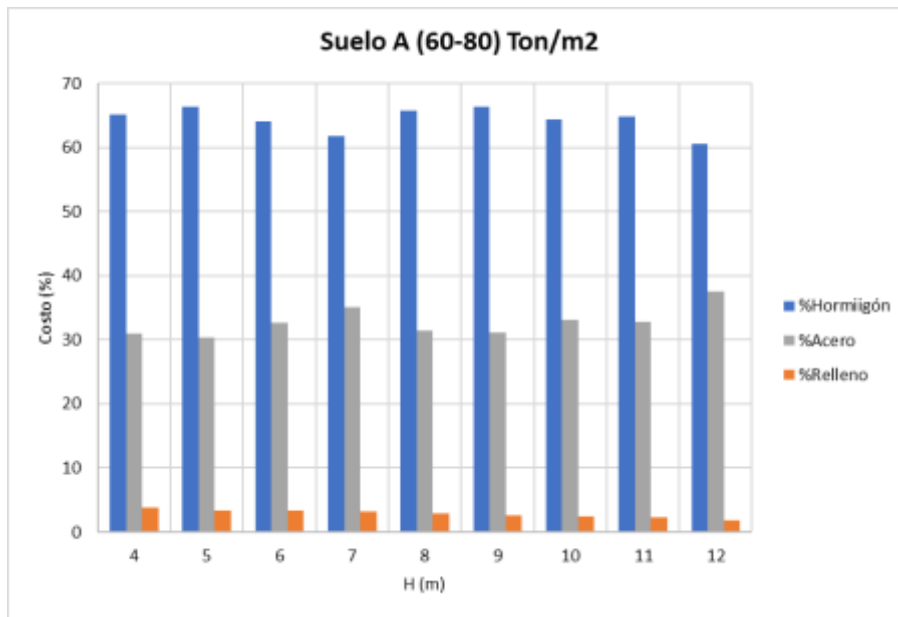


Figura 59

Costos de muros para suelo tipo B con una capacidad de carga de 40 Ton/m²

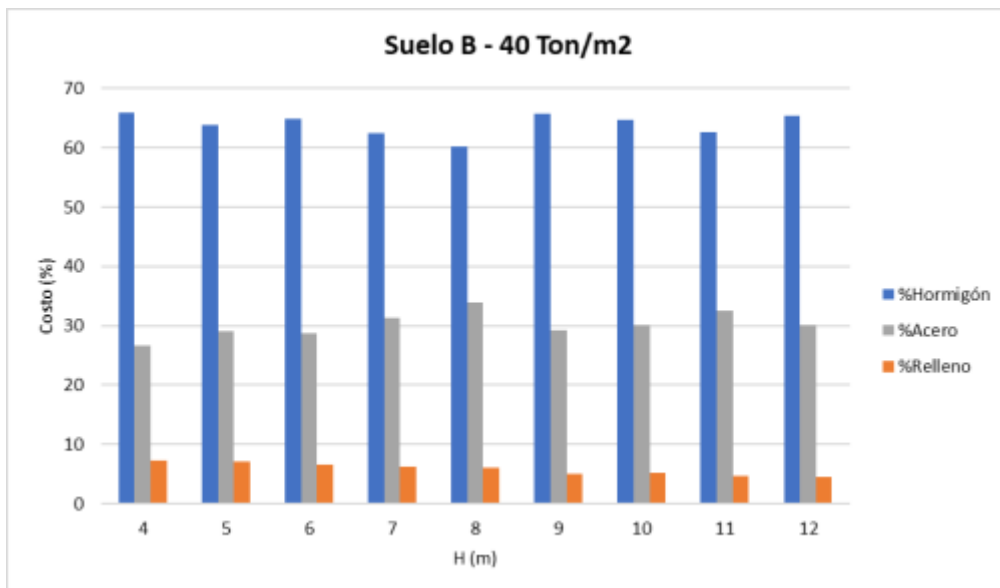


Figura 60

Costos de muros para suelo tipo B con una capacidad de carga de 45 Ton/m²

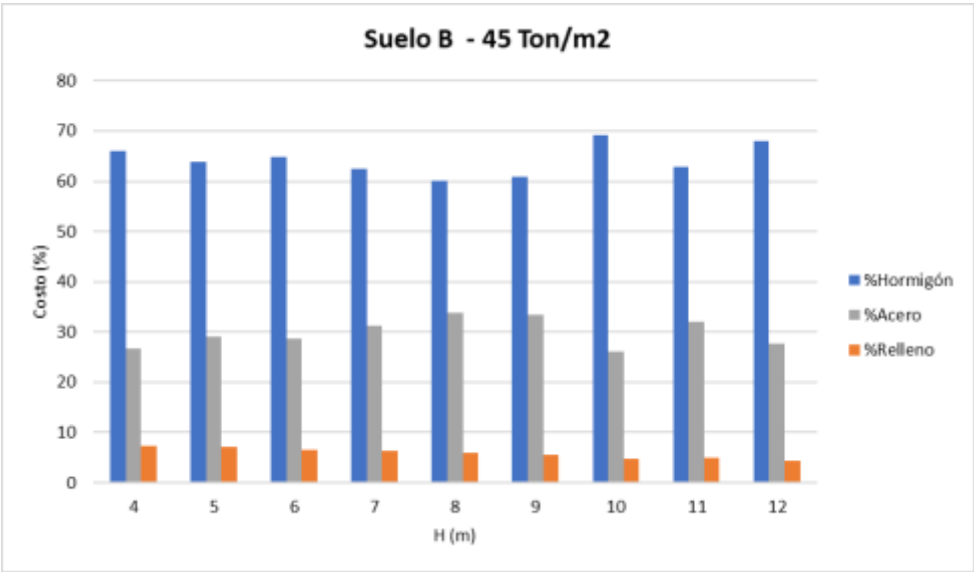


Figura 61

Costos de muros para suelo tipo B con una capacidad de carga de 50 Ton/m²

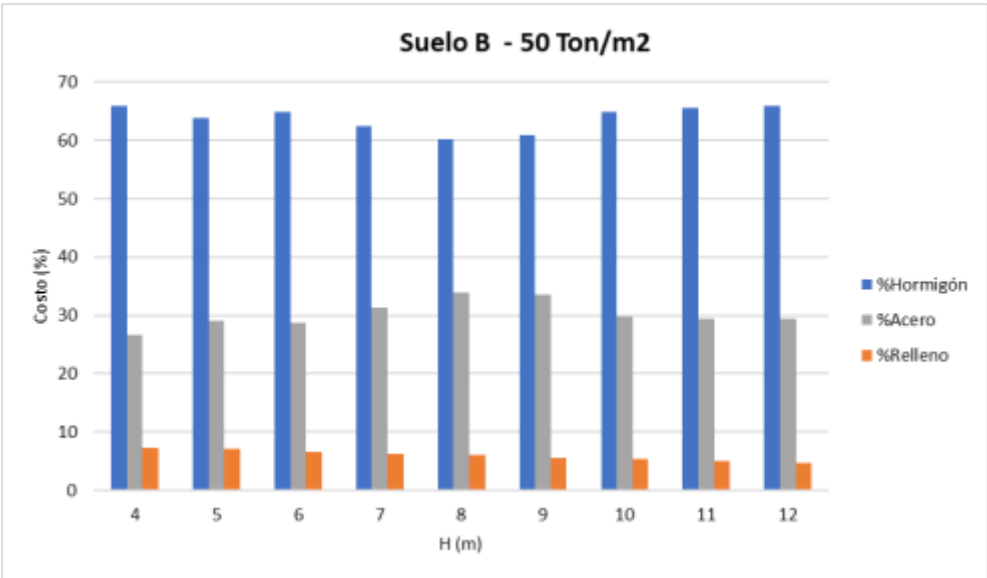


Figura 62

Costos de muros para suelo tipo B con una capacidad de carga de 55 Ton/m²

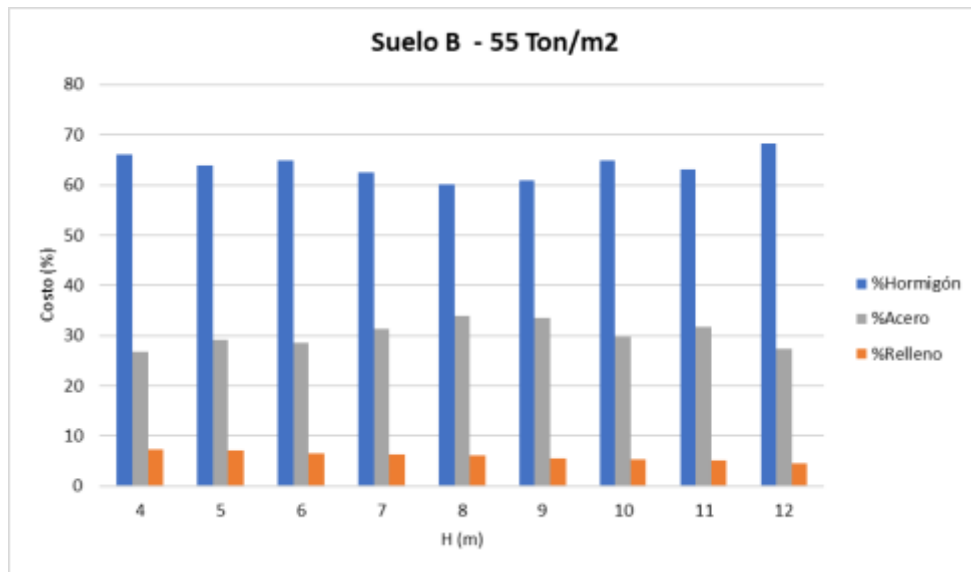


Figura 63

Costos de muros para suelo tipo B con una capacidad de carga de 60 Ton/m²

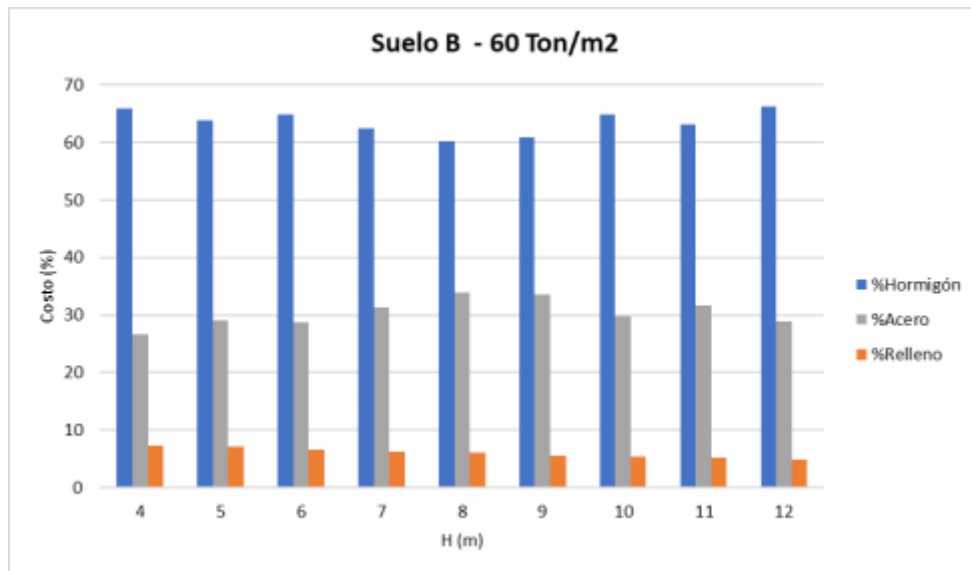


Figura 64

Costos de muros para suelo tipo C con una capacidad de carga de 25 Ton/m²

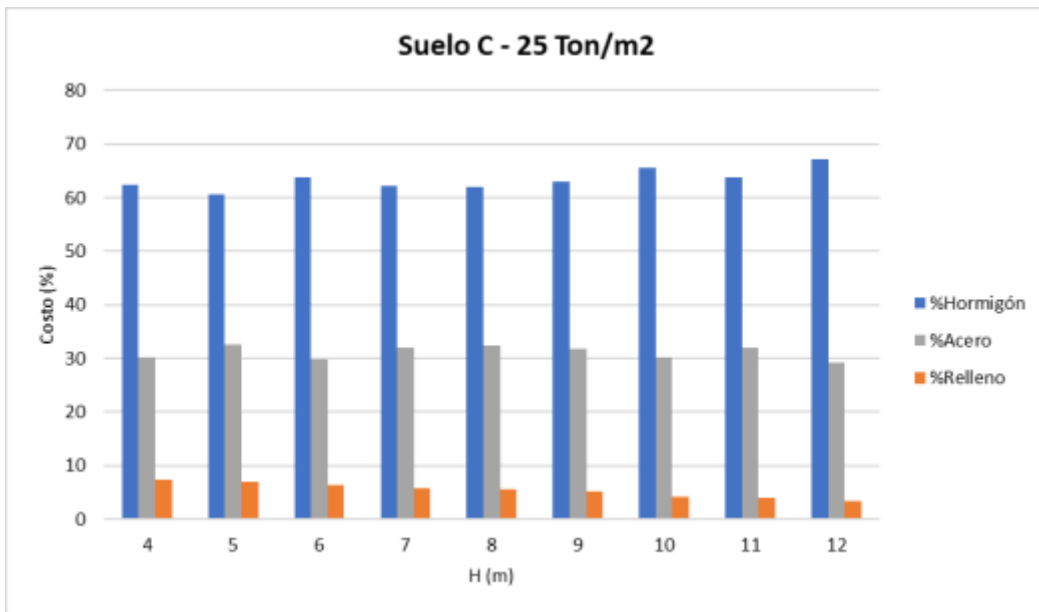


Figura 65

Costos de muros para suelo tipo C con una capacidad de carga de 28 Ton/m²

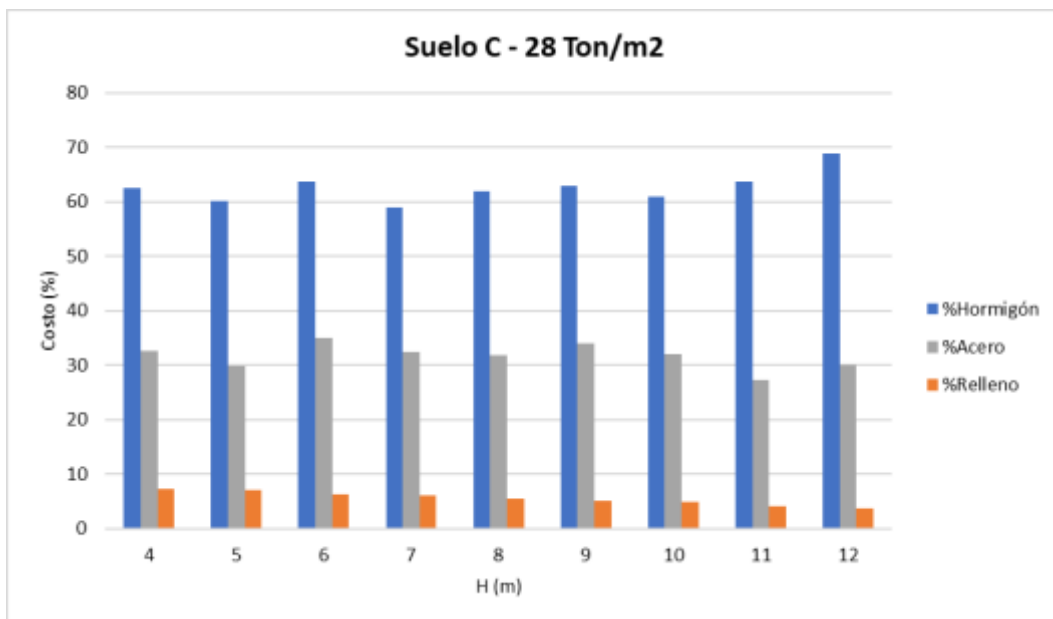


Figura 66

Costos de muros para suelo tipo C con una capacidad de carga de 31 Ton/m²

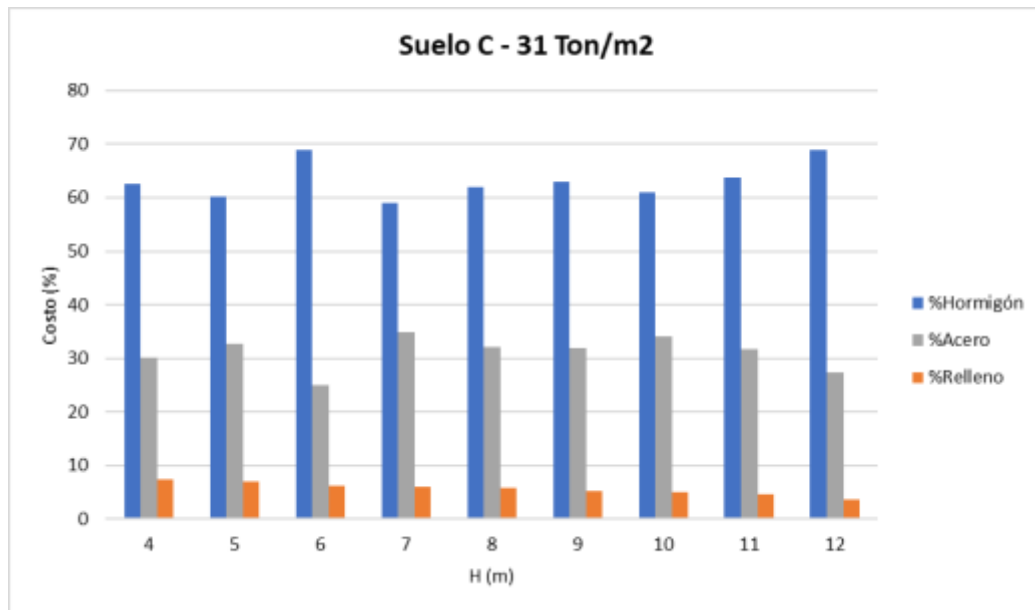


Figura 67

Costos de muros para suelo tipo C con una capacidad de carga de 34 Ton/m²

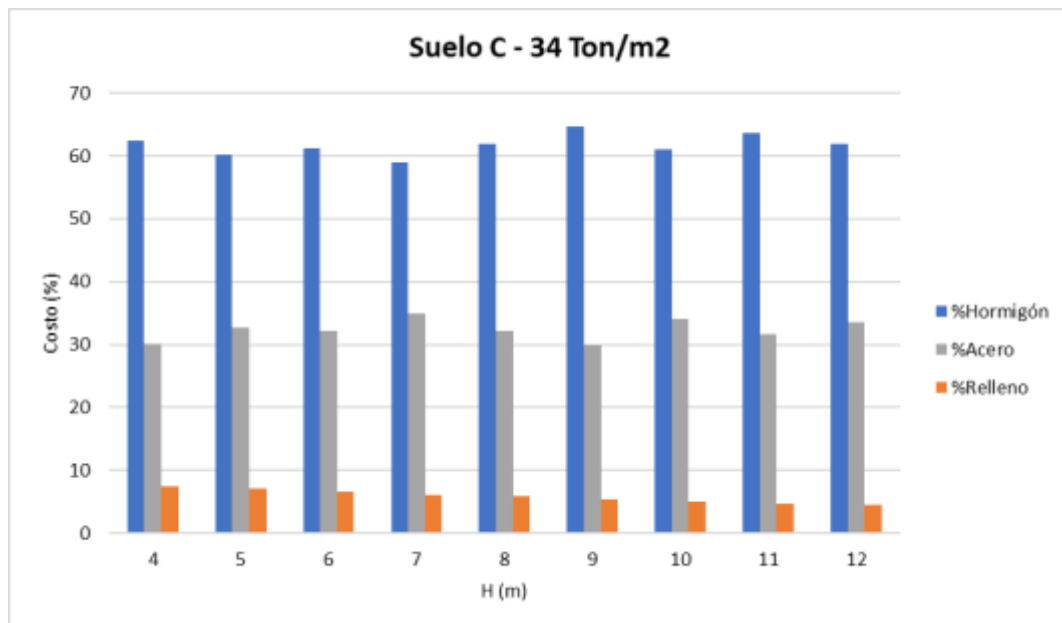


Figura 68

Costos de muros para suelo tipo C con una capacidad de carga de 37 Ton/m²

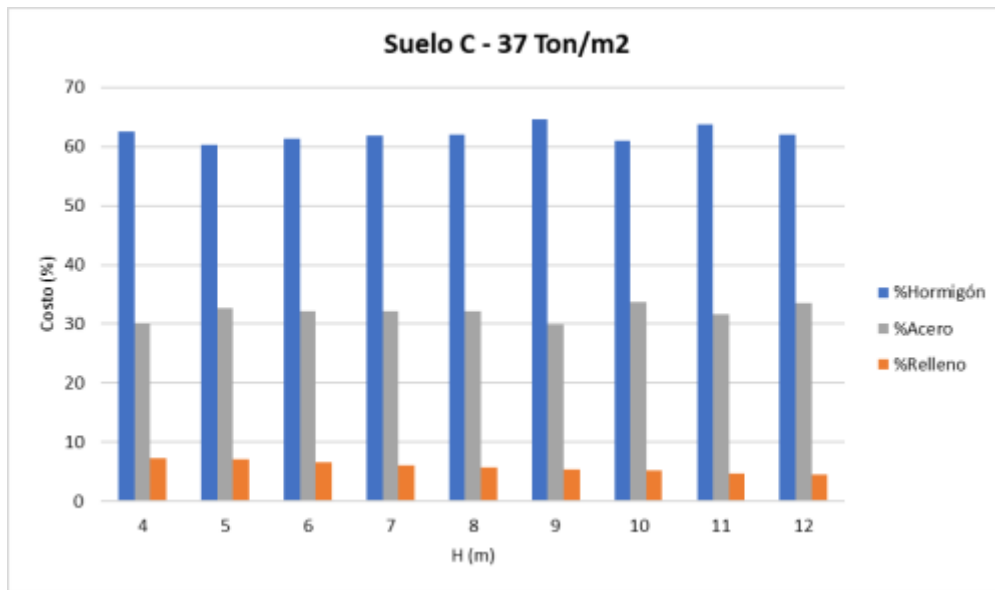


Figura 69

Costos de muros para suelo tipo C con una capacidad de carga de 40 Ton/m²

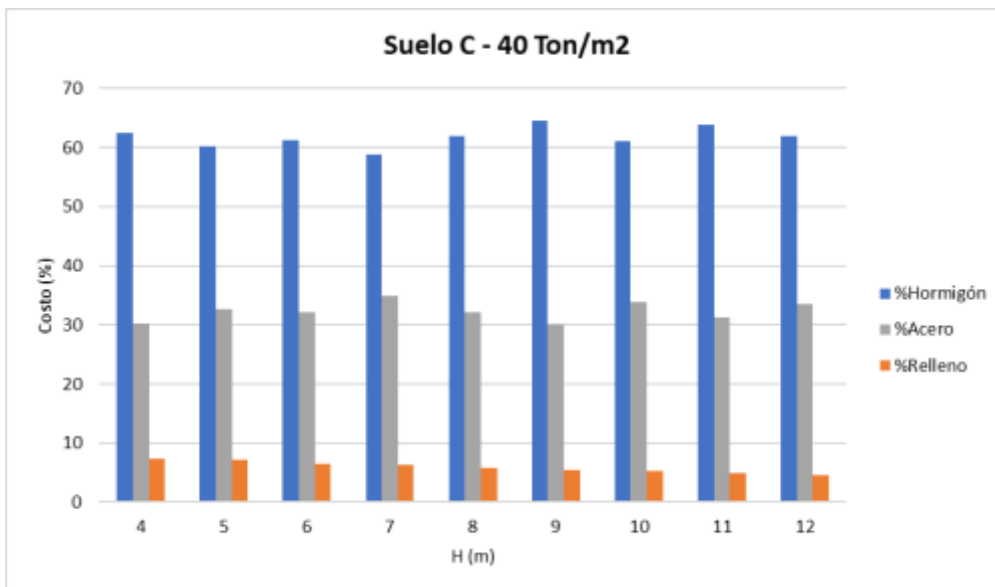


Figura 70

Costos de muros para suelo tipo D con una capacidad de carga de 12 Ton/m²

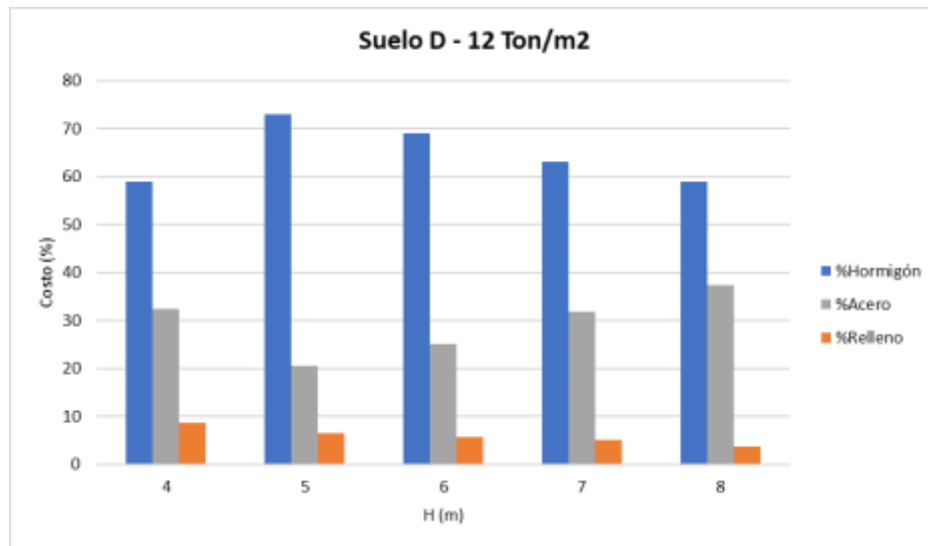


Figura 71

Costos de muros para suelo tipo D con una capacidad de carga de 15 Ton/m²

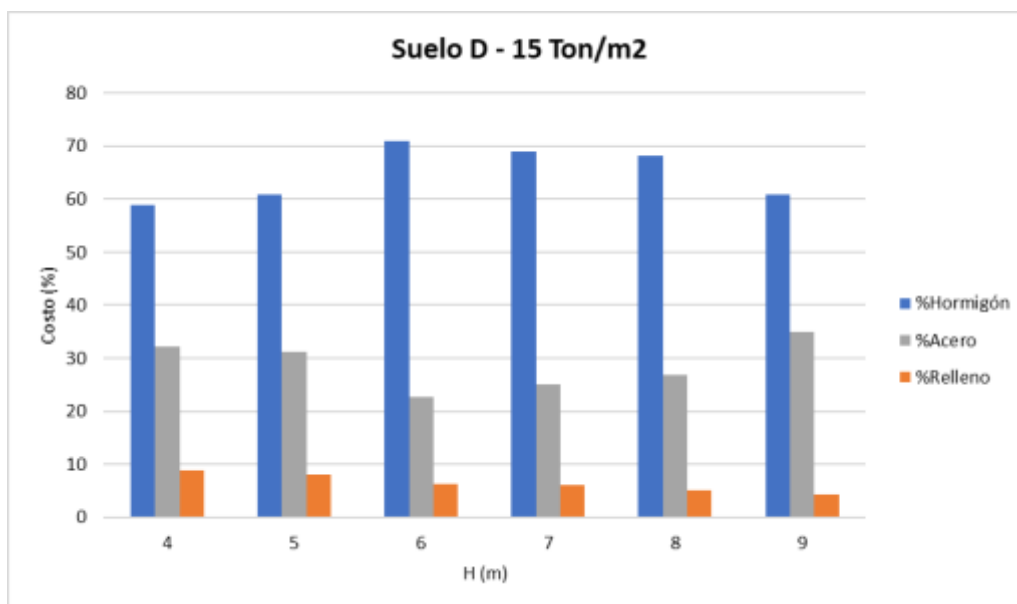


Figura 72

Costos de muros para suelo tipo D con una capacidad de carga de 18 Ton/m²

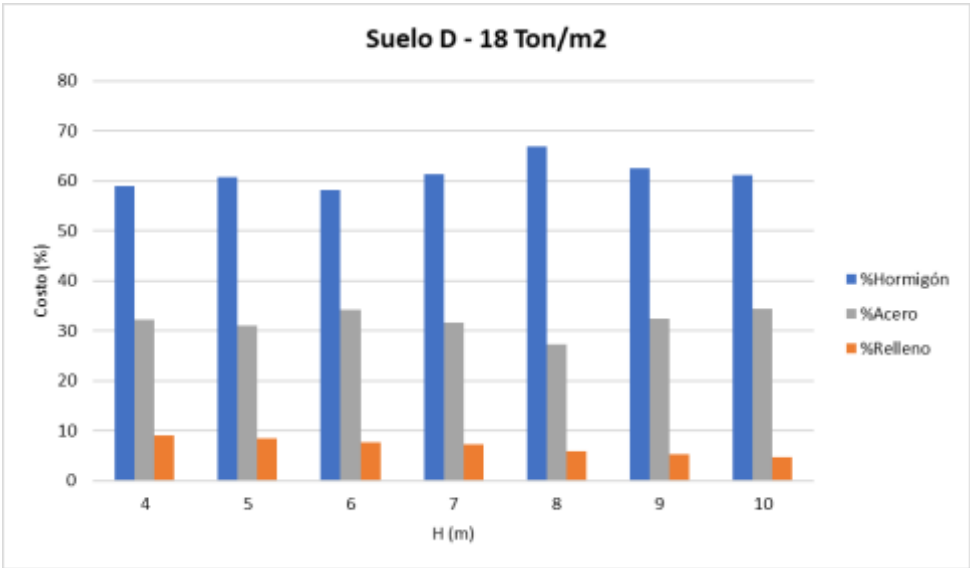


Figura 73

Costos de muros para suelo tipo D con una capacidad de carga de 21 Ton/m²

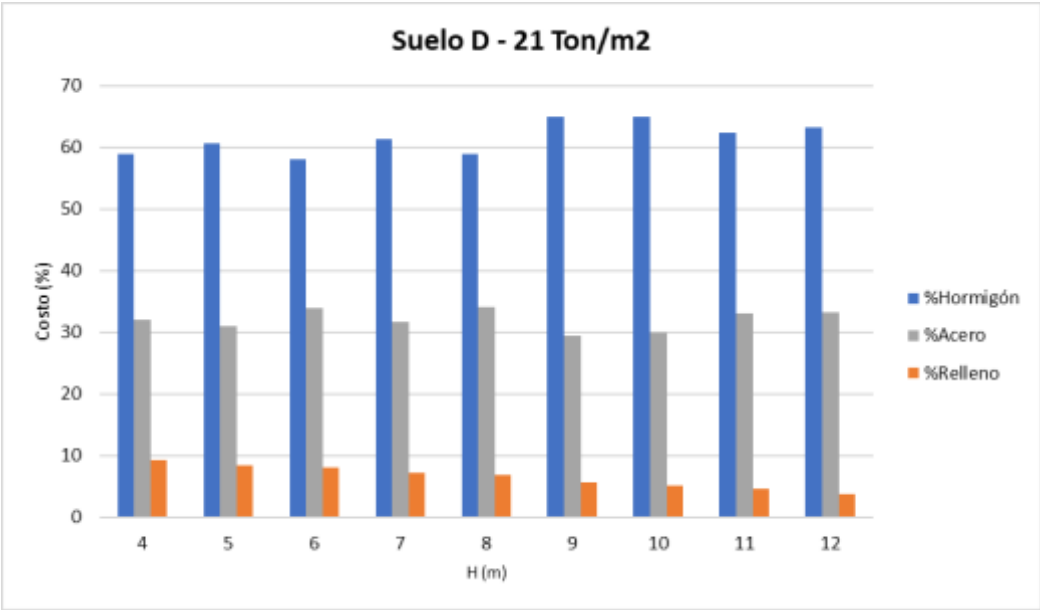


Figura 74

Costos de muros para suelo tipo D con una capacidad de carga de 24 Ton/m²

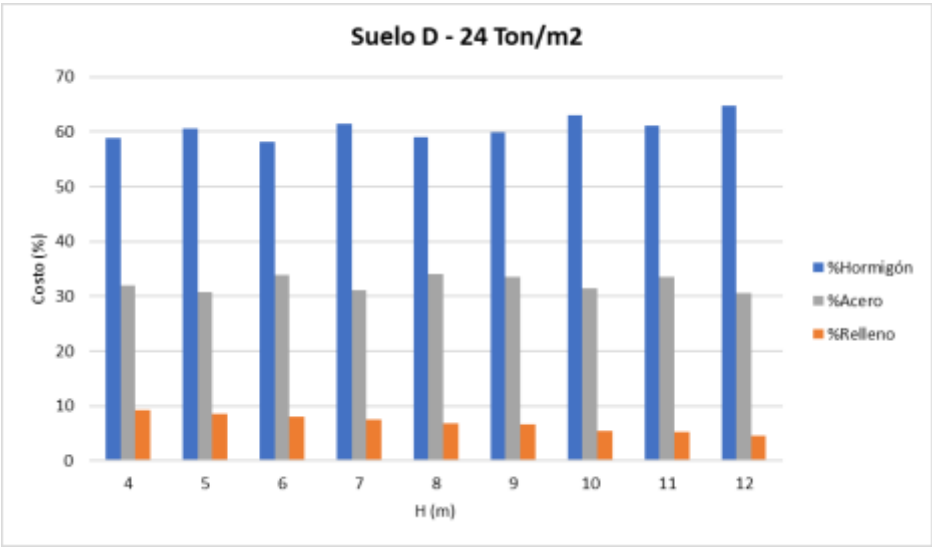


Figura 75

Costos de muros para suelo tipo D con una capacidad de carga de 27 Ton/m²

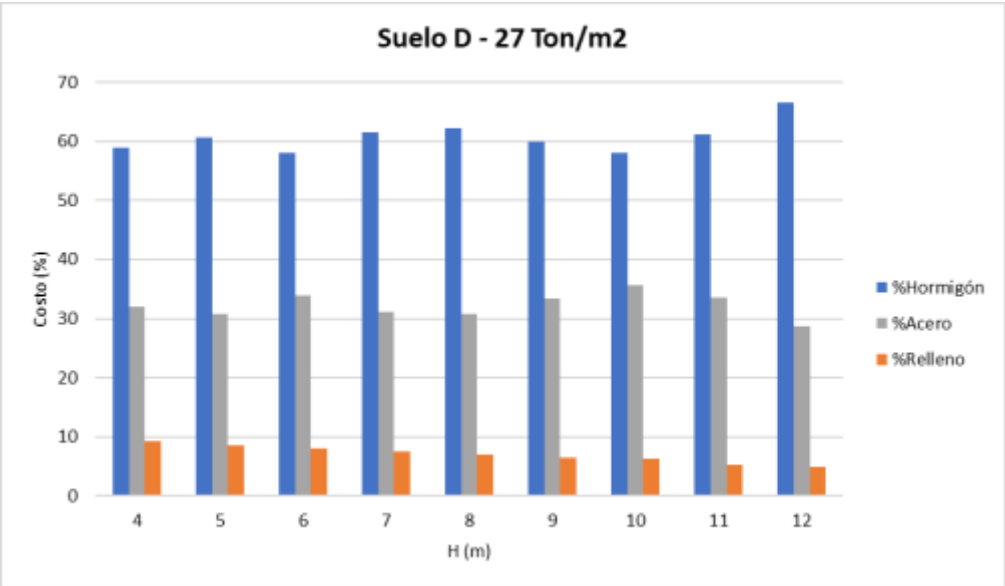


Figura 76

Costos de muros para suelo tipo D con una capacidad de carga de 30 Ton/m²

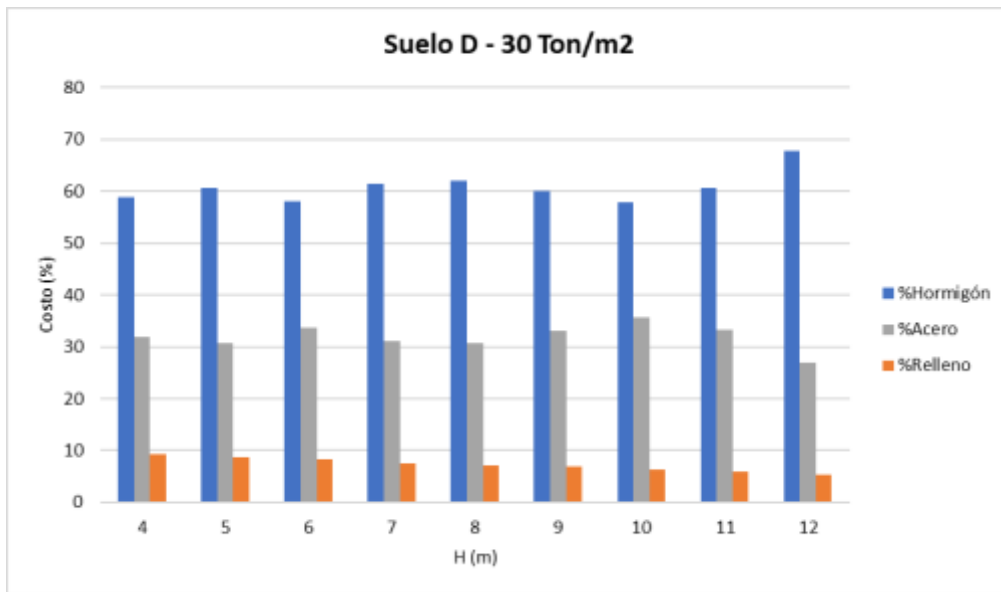


Figura 77

Costos de muros para suelo tipo E con una capacidad de carga de 10 Ton/m²

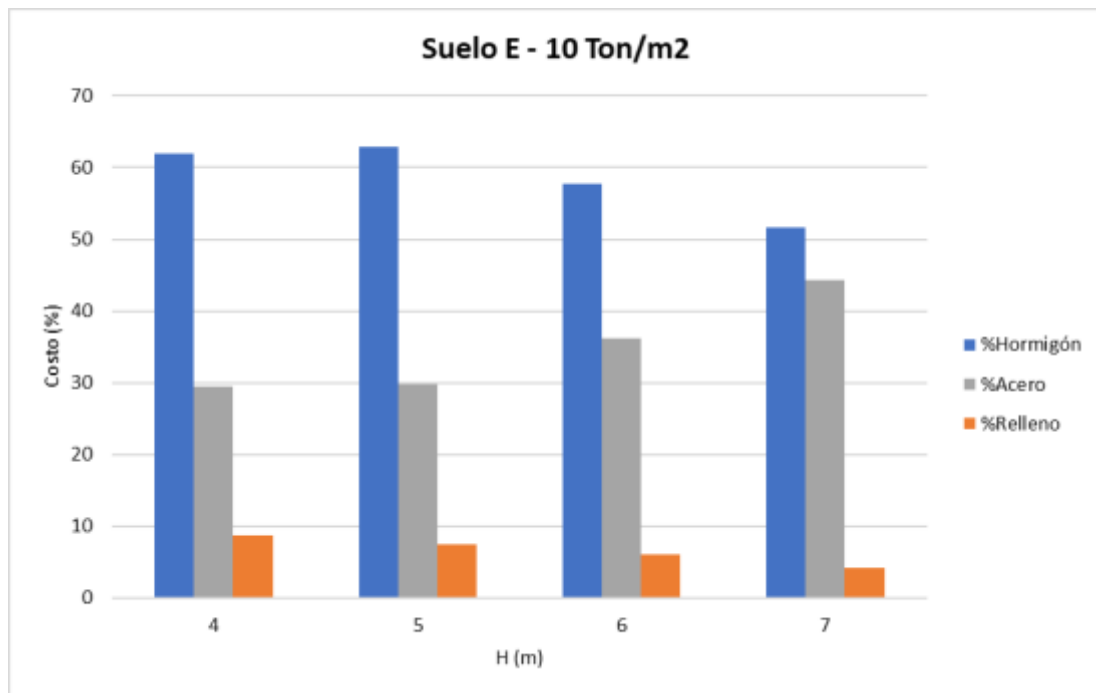


Figura 78

Costos de muros para suelo tipo E con una capacidad de carga de 11 Ton/m²

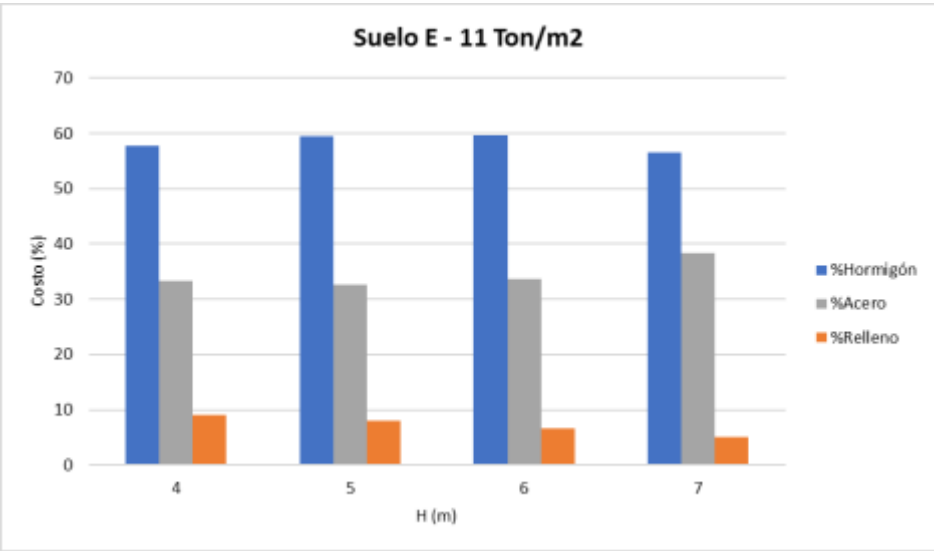


Figura 79

Costos de muros para suelo tipo E con una capacidad de carga de 12 Ton/m²

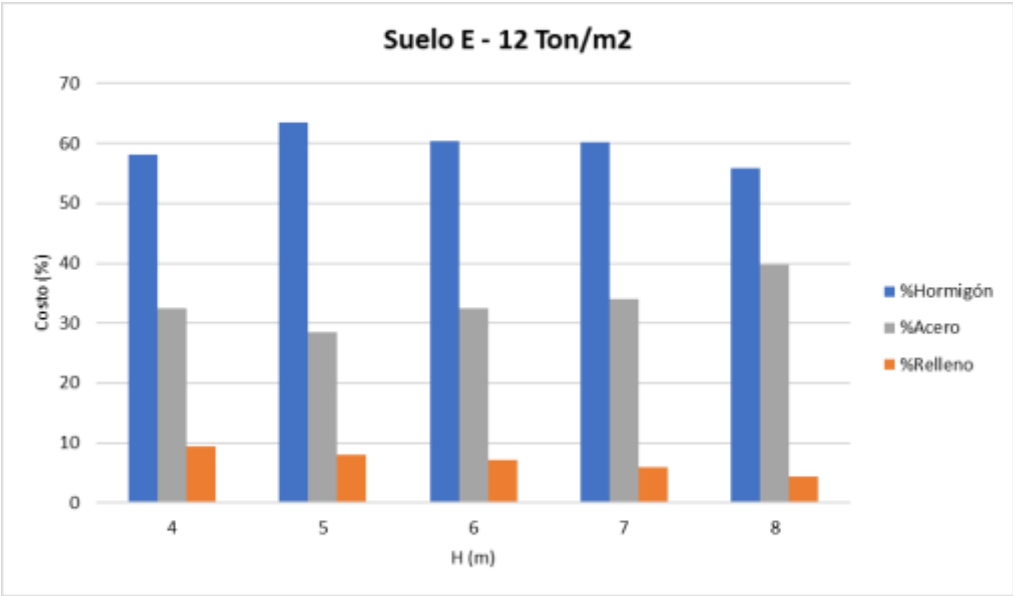


Figura 80

Costos de muros para suelo tipo E con una capacidad de carga de 13 Ton/m²

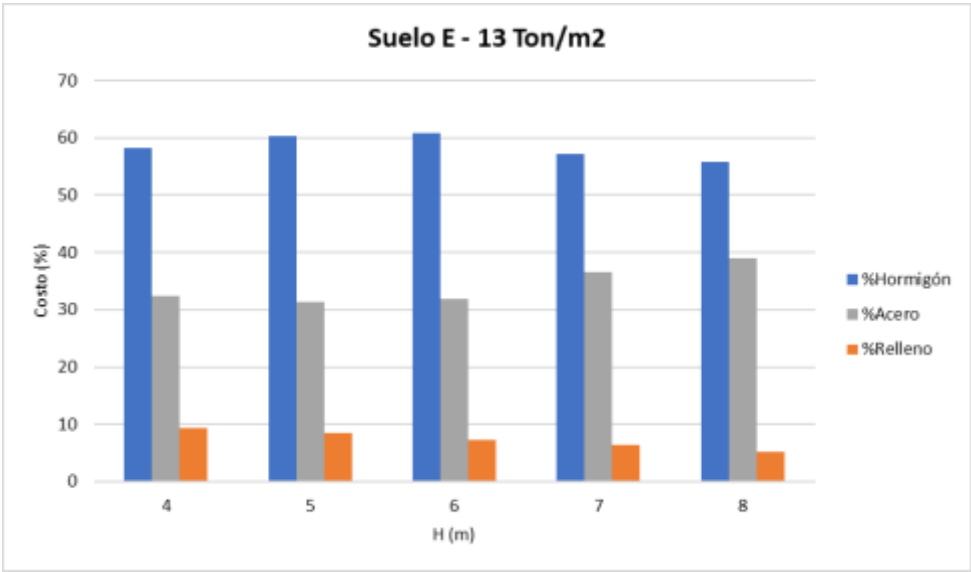


Figura 81

Costos de muros para suelo tipo E con una capacidad de carga de 14 Ton/m²

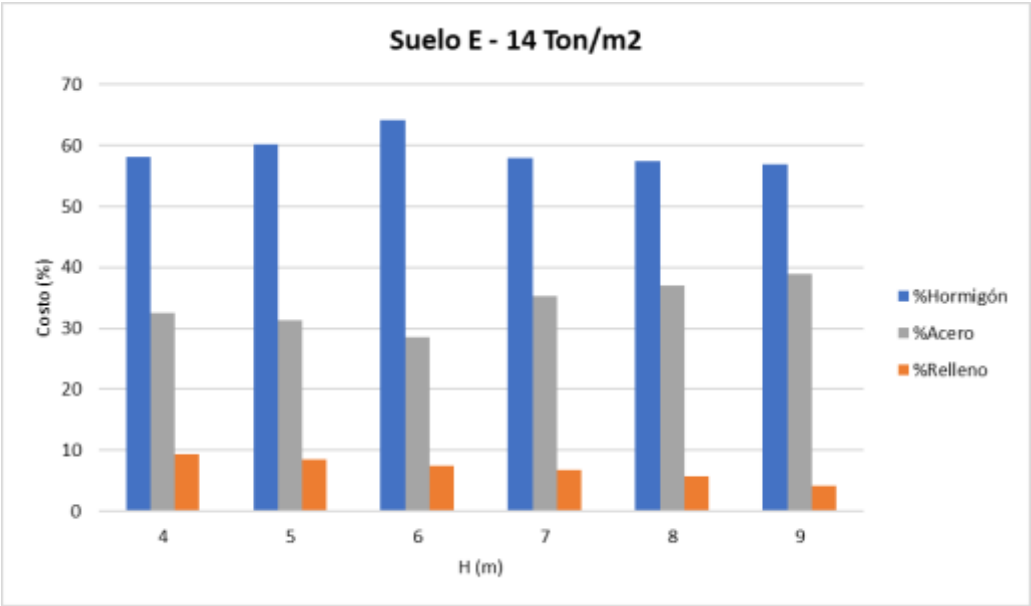
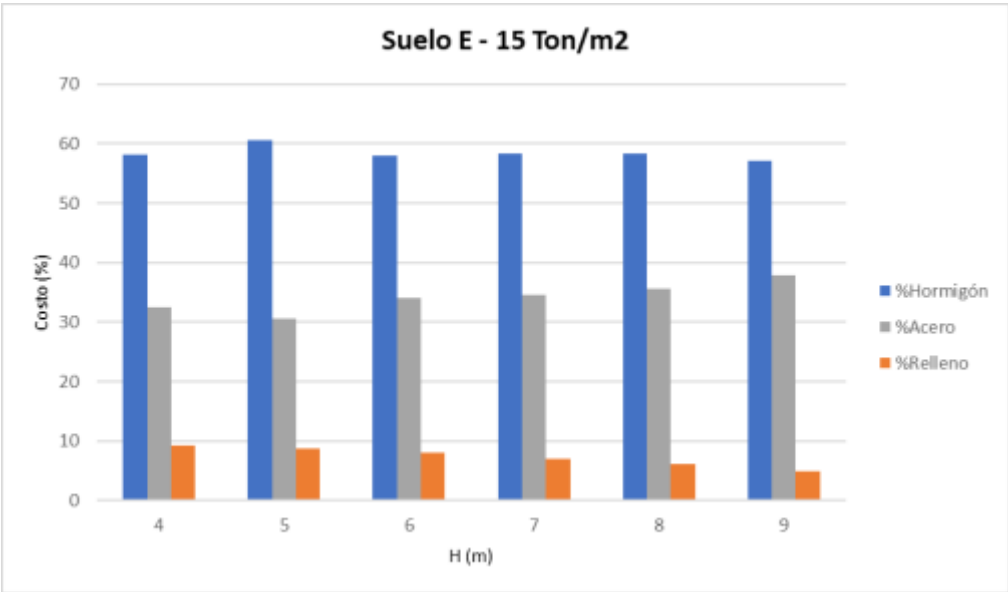


Figura 82

Costos de muros para suelo tipo E con una capacidad de carga de 15 Ton/m²



ANEXOS 03

Tabla 26

Relación Demanda/Capacidad para suelo tipo A variando la capacidad de carga del suelo

Suelo Tipo A										
qu (Ton/m2)	Altura (m)	Volteo Resistencia	Deslizamiento Resistencia	Presiones Resistencia	Volteo Evento Extremo	Deslizamiento Evento Extremo	Presiones Evento Extremo	Corte Pantalla	Corte Talón	Corte Punta
60	4	0,296	0,439	0,400	0,998	0,895	0,392	0,479	0,800	0,390
	5	0,282	0,429	0,470	0,994	0,898	0,470	0,583	0,748	0,412
	6	0,282	0,429	0,564	0,994	0,898	0,564	0,675	0,862	0,465
	7	0,282	0,429	0,658	0,994	0,898	0,658	0,766	0,979	0,520
	8	0,277	0,440	0,728	0,996	0,915	0,735	0,690	0,990	0,624
	9	0,270	0,427	0,775	0,999	0,916	0,796	0,756	0,839	0,614
	10	0,270	0,427	0,861	0,999	0,916	0,884	0,839	0,924	0,673
	11	0,262	0,388	0,944	0,984	0,878	0,973	0,897	0,884	0,608
	12	0,211	0,474	0,774	0,898	0,992	0,817	0,993	0,785	0,978
64	4	0,296	0,439	0,375	0,998	0,895	0,368	0,479	0,800	0,390
	5	0,282	0,429	0,440	0,994	0,898	0,440	0,583	0,748	0,412
	6	0,282	0,429	0,528	0,994	0,898	0,528	0,675	0,862	0,465
	7	0,282	0,429	0,616	0,994	0,898	0,616	0,766	0,979	0,520
	8	0,277	0,440	0,682	0,996	0,915	0,689	0,690	0,990	0,624
	9	0,270	0,427	0,726	0,999	0,916	0,746	0,756	0,839	0,614
	10	0,270	0,427	0,807	0,999	0,916	0,829	0,839	0,924	0,673
	11	0,262	0,388	0,885	0,984	0,878	0,912	0,897	0,884	0,608
	12	0,262	0,388	0,965	0,984	0,878	0,995	0,972	0,960	0,658
68	4	0,296	0,439	0,353	0,998	0,895	0,346	0,479	0,800	0,390
	5	0,282	0,429	0,414	0,994	0,898	0,414	0,583	0,748	0,412
	6	0,282	0,429	0,497	0,994	0,898	0,497	0,675	0,862	0,465
	7	0,282	0,429	0,580	0,994	0,898	0,580	0,766	0,979	0,520

	8	0,277	0,440	0,642	0,996	0,915	0,649	0,690	0,990	0,624
	9	0,270	0,427	0,683	0,999	0,916	0,702	0,756	0,839	0,614
	10	0,270	0,427	0,759	0,999	0,916	0,780	0,839	0,924	0,673
	11	0,262	0,388	0,833	0,984	0,878	0,859	0,897	0,884	0,608
	12	0,262	0,388	0,909	0,984	0,878	0,937	0,972	0,960	0,658
72	4	0,296	0,439	0,334	0,998	0,895	0,327	0,479	0,800	0,390
	5	0,282	0,429	0,391	0,994	0,898	0,391	0,583	0,748	0,412
	6	0,282	0,429	0,470	0,994	0,898	0,470	0,675	0,862	0,465
	7	0,282	0,429	0,548	0,994	0,898	0,548	0,766	0,979	0,520
	8	0,277	0,440	0,606	0,996	0,915	0,613	0,690	0,990	0,624
	9	0,270	0,427	0,646	0,999	0,916	0,663	0,756	0,839	0,614
	10	0,270	0,427	0,717	0,999	0,916	0,737	0,839	0,924	0,673
	11	0,262	0,388	0,787	0,984	0,878	0,811	0,897	0,884	0,608
76	12	0,262	0,388	0,858	0,984	0,878	0,885	0,972	0,960	0,658
	4	0,296	0,439	0,316	0,998	0,895	0,310	0,479	0,800	0,390
	5	0,282	0,429	0,371	0,994	0,898	0,371	0,583	0,748	0,412
	6	0,282	0,429	0,445	0,994	0,898	0,445	0,675	0,862	0,465
	7	0,282	0,429	0,519	0,994	0,898	0,519	0,766	0,979	0,520
	8	0,277	0,440	0,574	0,996	0,915	0,581	0,690	0,990	0,624
	9	0,270	0,427	0,612	0,999	0,916	0,628	0,756	0,839	0,614
	10	0,270	0,427	0,679	0,999	0,916	0,698	0,839	0,924	0,673
80	11	0,262	0,388	0,745	0,984	0,878	0,768	0,897	0,884	0,608
	12	0,262	0,388	0,813	0,984	0,878	0,838	0,972	0,960	0,658
	4	0,296	0,439	0,300	0,998	0,895	0,294	0,479	0,800	0,390
	5	0,282	0,429	0,352	0,994	0,898	0,352	0,583	0,748	0,412
	6	0,282	0,429	0,423	0,994	0,898	0,423	0,675	0,862	0,465
	7	0,282	0,429	0,493	0,994	0,898	0,493	0,766	0,979	0,520
	8	0,277	0,440	0,546	0,996	0,915	0,552	0,690	0,990	0,624
	9	0,270	0,427	0,581	0,999	0,916	0,597	0,756	0,839	0,614
	10	0,270	0,427	0,646	0,999	0,916	0,663	0,839	0,924	0,673

	11	0,262	0,388	0,708	0,984	0,878	0,730	0,897	0,884	0,608
	12	0,262	0,388	0,772	0,984	0,878	0,796	0,972	0,960	0,658

Tabla 27

Relación Demanda/Capacidad para suelo tipo B variando la capacidad de carga del suelo

Suelo Tipo B										
qu (Ton/m2)	Altura (m)	Volteo Resistencia	Deslizamiento Resistencia	Presiones Resistencia	Volteo Evento Extremo	Deslizamiento Evento Extremo	Presiones Evento Extremo	Corte Pantalla	Corte Talón	Corte Punta
35	4	0,194	0,452	0,518	0,918	0,982	0,566	0,502	0,728	0,472
	5	0,194	0,452	0,648	0,918	0,982	0,708	0,628	0,909	0,585
	6	0,188	0,443	0,735	0,926	0,990	0,818	0,708	0,763	0,557
	7	0,188	0,443	0,858	0,926	0,990	0,954	0,803	0,866	0,628
	8	0,207	0,396	0,879	0,989	1,000	0,999	0,843	0,425	0,501
	9	0,123	0,427	0,865	0,798	0,988	0,989	0,975	0,768	0,727
	10	0,066	0,417	0,809	0,669	0,968	0,938	0,882	0,778	0,844
	11	0,110	0,386	0,882	0,740	0,978	0,996	0,921	0,441	0,758
40	12	0,020	0,371	0,837	0,557	0,913	0,975	0,857	0,722	0,915
	4	0,194	0,452	0,453	0,918	0,982	0,496	0,502	0,728	0,472
	5	0,194	0,452	0,567	0,918	0,982	0,619	0,628	0,909	0,585
	6	0,188	0,443	0,643	0,926	0,990	0,716	0,708	0,763	0,557
	7	0,188	0,443	0,751	0,926	0,990	0,835	0,803	0,866	0,628
	8	0,186	0,432	0,876	0,912	0,969	0,970	0,730	0,971	0,687
	9	0,194	0,384	0,871	0,961	0,977	0,993	0,760	0,473	0,549
	10	0,116	0,416	0,851	0,780	0,967	0,974	0,882	0,846	0,790
45	11	0,066	0,417	0,779	0,669	0,968	0,902	0,962	0,849	0,923
	12	0,058	0,406	0,856	0,651	0,947	0,995	0,879	0,920	0,992
	4	0,194	0,452	0,403	0,918	0,982	0,440	0,502	0,728	0,472
	5	0,194	0,452	0,504	0,918	0,982	0,551	0,628	0,909	0,585
	6	0,188	0,443	0,572	0,926	0,990	0,636	0,708	0,763	0,557
	7	0,188	0,443	0,667	0,926	0,990	0,742	0,803	0,866	0,628
	8	0,186	0,432	0,779	0,912	0,969	0,863	0,730	0,971	0,687

	9	0,183	0,419	0,833	0,922	0,973	0,936	0,799	0,813	0,669
	10	0,194	0,384	0,860	0,961	0,977	0,981	0,844	0,522	0,605
	11	0,116	0,416	0,832	0,780	0,967	0,952	0,962	0,923	0,863
	12	0,135	0,417	0,866	0,822	0,998	0,993	0,857	0,624	0,873
50	4	0,194	0,452	0,363	0,918	0,982	0,396	0,502	0,728	0,472
	5	0,194	0,452	0,453	0,918	0,982	0,496	0,628	0,909	0,585
	6	0,188	0,443	0,515	0,926	0,990	0,572	0,708	0,763	0,557
	7	0,188	0,443	0,601	0,926	0,990	0,668	0,803	0,866	0,628
	8	0,186	0,432	0,701	0,912	0,969	0,776	0,730	0,971	0,687
	9	0,183	0,419	0,750	0,922	0,973	0,843	0,799	0,813	0,669
	10	0,183	0,419	0,833	0,922	0,973	0,936	0,882	0,894	0,736
	11	0,186	0,404	0,879	0,938	0,976	0,998	0,942	0,746	0,723
	12	0,121	0,432	0,796	0,794	0,992	0,915	0,879	0,852	0,975
55	4	0,194	0,452	0,330	0,918	0,982	0,360	0,502	0,728	0,472
	5	0,194	0,452	0,412	0,918	0,982	0,451	0,628	0,909	0,585
	6	0,188	0,443	0,468	0,926	0,990	0,520	0,708	0,763	0,557
	7	0,188	0,443	0,546	0,926	0,990	0,607	0,803	0,866	0,628
	8	0,186	0,432	0,637	0,912	0,969	0,706	0,730	0,971	0,687
	9	0,183	0,419	0,681	0,922	0,973	0,766	0,799	0,813	0,669
	10	0,183	0,419	0,757	0,922	0,973	0,851	0,882	0,894	0,736
	11	0,183	0,419	0,833	0,922	0,973	0,936	0,962	0,977	0,803
60	4	0,194	0,452	0,302	0,918	0,982	0,330	0,502	0,728	0,472
	5	0,194	0,452	0,378	0,918	0,982	0,413	0,628	0,909	0,585
	6	0,188	0,443	0,429	0,926	0,990	0,477	0,708	0,763	0,557
	7	0,188	0,443	0,500	0,926	0,990	0,557	0,803	0,866	0,628
	8	0,186	0,432	0,584	0,912	0,969	0,647	0,730	0,971	0,687
	9	0,183	0,419	0,625	0,922	0,973	0,702	0,799	0,813	0,669
	10	0,183	0,419	0,694	0,922	0,973	0,780	0,882	0,894	0,736
	11	0,183	0,419	0,763	0,922	0,973	0,858	0,962	0,977	0,803

	12	0,185	0,433	0,809	0,932	0,995	0,917	0,879	0,920	0,912
--	----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabla 28

Relación Demanda/Capacidad para suelo tipo C variando la capacidad de carga del suelo

Suelo Tipo C										
qu (Ton/m2)	Altura (m)	Volteo Resistencia	Deslizamiento Resistencia	Presiones Resistencia	Volteo Evento Extremo	Deslizamiento Evento Extremo	Presiones Evento Extremo	Corte Pantalla	Corte Talón	Corte Punta
25	4	0,171	0,370	0,567	0,883	0,983	0,889	0,537	0,745	0,366
	5	0,081	0,365	0,624	0,744	0,973	0,758	0,671	0,877	0,462
	6	0,073	0,378	0,720	0,748	0,996	0,888	0,616	0,901	0,557
	7	0,067	0,342	0,790	0,756	0,986	0,998	0,840	0,666	0,473
	8	0,001	0,346	0,864	0,628	0,961	0,905	0,788	0,926	0,629
	9	0,002	0,334	0,928	0,639	0,968	0,992	0,857	0,781	0,632
	10	0,012	0,303	0,871	0,622	0,984	0,907	0,902	0,418	0,656
	11	0,012	0,303	0,958	0,622	0,984	0,997	0,984	0,457	0,719
	12	0,051	0,281	0,959	0,613	0,985	0,966	0,880	0,240	0,798
28	4	0,171	0,370	0,506	0,883	0,983	0,793	0,537	0,745	0,366
	5	0,171	0,370	0,633	0,883	0,983	0,992	0,671	0,897	0,422
	6	0,073	0,378	0,643	0,748	0,996	0,792	0,616	0,901	0,557
	7	0,070	0,355	0,740	0,747	0,980	0,913	0,858	0,867	0,525
	8	0,001	0,346	0,772	0,628	0,961	0,808	0,788	0,926	0,629
	9	0,002	0,334	0,829	0,639	0,968	0,886	0,857	0,781	0,632
	10	0,002	0,334	0,921	0,639	0,968	0,985	0,942	0,861	0,697
	11	0,012	0,303	0,856	0,622	0,984	0,890	0,984	0,457	0,719
	12	0,021	0,310	0,918	0,630	0,997	0,967	0,770	0,371	0,804
31	4	0,171	0,370	0,457	0,883	0,983	0,717	0,537	0,745	0,366
	5	0,171	0,370	0,571	0,883	0,983	0,896	0,671	0,897	0,422
	6	0,142	0,337	0,630	0,876	0,975	0,995	0,587	0,610	0,377
	7	0,070	0,355	0,668	0,747	0,980	0,825	0,858	0,867	0,525
	8	0,071	0,347	0,781	0,739	0,964	0,949	0,788	0,976	0,579

	9	0,002	0,334	0,748	0,639	0,968	0,800	0,857	0,781	0,632
	10	0,002	0,334	0,832	0,639	0,968	0,889	0,942	0,861	0,697
	11	0,007	0,348	0,882	0,653	0,995	0,965	0,868	0,801	0,797
	12	0,021	0,310	0,829	0,630	0,997	0,873	0,770	0,371	0,804
34	4	0,171	0,370	0,417	0,883	0,983	0,653	0,537	0,745	0,366
	5	0,171	0,370	0,521	0,883	0,983	0,817	0,671	0,897	0,422
	6	0,154	0,359	0,591	0,882	0,989	0,939	0,757	0,786	0,424
	7	0,070	0,355	0,609	0,747	0,980	0,752	0,858	0,867	0,525
	8	0,071	0,347	0,712	0,739	0,964	0,865	0,788	0,976	0,579
	9	0,065	0,359	0,771	0,744	0,986	0,953	0,727	0,956	0,676
	10	0,002	0,334	0,758	0,639	0,968	0,811	0,942	0,861	0,697
	11	0,007	0,348	0,804	0,653	0,995	0,880	0,868	0,801	0,797
37	12	0,007	0,348	0,877	0,653	0,995	0,960	0,949	0,869	0,867
	4	0,171	0,370	0,383	0,883	0,983	0,600	0,537	0,745	0,366
	5	0,171	0,370	0,479	0,883	0,983	0,750	0,671	0,897	0,422
	6	0,154	0,359	0,543	0,882	0,989	0,862	0,757	0,786	0,424
	7	0,143	0,345	0,602	0,887	0,993	0,978	0,840	0,697	0,435
	8	0,071	0,347	0,654	0,739	0,964	0,795	0,788	0,976	0,579
	9	0,065	0,359	0,709	0,744	0,986	0,875	0,727	0,956	0,676
	10	0,064	0,334	0,778	0,745	0,969	0,964	0,942	0,921	0,640
40	11	0,007	0,348	0,739	0,653	0,995	0,808	0,868	0,801	0,797
	12	0,007	0,348	0,806	0,653	0,995	0,882	0,949	0,869	0,867
	4	0,171	0,370	0,354	0,883	0,983	0,555	0,537	0,745	0,366
	5	0,171	0,370	0,443	0,883	0,983	0,694	0,671	0,897	0,422
	6	0,154	0,359	0,503	0,882	0,989	0,798	0,757	0,786	0,424
	7	0,154	0,359	0,586	0,882	0,989	0,931	0,858	0,897	0,479
	8	0,071	0,347	0,605	0,739	0,964	0,735	0,788	0,976	0,579
	9	0,065	0,359	0,656	0,744	0,986	0,810	0,727	0,956	0,676
10	0,064	0,334	0,720	0,745	0,969	0,891	0,942	0,921	0,640	
11	0,063	0,346	0,764	0,754	0,993	0,967	0,868	0,875	0,735	

	12	0,007	0,348	0,745	0,653	0,995	0,816	0,949	0,869	0,867
--	----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabla 29

Relación Demanda/Capacidad para suelo tipo D variando la capacidad de carga del suelo

Suelo Tipo D										
qu (Ton/m2)	Altura (m)	Volteo Resistencia	Deslizamiento Resistencia	Presiones Resistencia	Volteo Evento Extremo	Deslizamiento Evento Extremo	Presiones Evento Extremo	Corte Pantalla	Corte Talón	Corte Punta
12	4	0,007	0,393	0,917	0,594	0,961	0,903	0,532	0,818	0,503
	5	0,016	0,345	0,892	0,592	0,986	0,883	0,473	0,251	0,397
	6	0,036	0,318	0,993	0,571	0,973	0,941	0,689	0,209	0,448
	7	0,000	0,345	0,991	0,434	0,982	0,802	0,798	0,208	0,668
	8	0,113	0,352	0,999	0,426	0,992	0,746	0,724	0,000	0,910
15	4	0,083	0,395	0,825	0,707	0,963	0,931	0,532	0,849	0,474
	5	0,004	0,386	0,871	0,602	0,971	0,873	0,651	0,741	0,529
	6	0,016	0,345	0,856	0,592	0,986	0,848	0,554	0,293	0,463
	7	0,016	0,345	0,999	0,592	0,986	0,989	0,638	0,335	0,529
	8	0,042	0,321	0,997	0,534	0,976	0,897	0,706	0,191	0,623
	9	0,044	0,355	0,972	0,443	1,000	0,776	0,813	0,137	0,904
18	4	0,083	0,395	0,688	0,707	0,963	0,776	0,532	0,849	0,474
	5	0,073	0,387	0,815	0,710	0,972	0,933	0,651	0,781	0,494
	6	0,004	0,386	0,871	0,602	0,971	0,873	0,751	0,854	0,605
	7	0,006	0,402	0,977	0,613	0,999	0,998	0,687	0,840	0,715
	8	0,016	0,345	0,952	0,592	0,986	0,942	0,724	0,377	0,597
	9	0,036	0,318	0,993	0,571	0,973	0,941	0,968	0,301	0,650
	10	0,008	0,351	0,980	0,472	0,995	0,829	0,895	0,273	0,898
21	4	0,175	0,399	0,671	0,843	0,972	0,944	0,532	0,867	0,440
	5	0,073	0,387	0,698	0,710	0,972	0,800	0,651	0,781	0,494
	6	0,073	0,387	0,838	0,710	0,972	0,959	0,751	0,901	0,564
	7	0,006	0,402	0,837	0,613	0,999	0,855	0,687	0,840	0,715
	8	0,006	0,402	0,957	0,613	0,999	0,977	0,781	0,942	0,801

	9	0,016	0,345	0,918	0,592	0,986	0,908	0,813	0,420	0,666
	10	0,014	0,310	0,955	0,543	0,954	0,885	0,876	0,332	0,713
	11	0,042	0,321	0,979	0,534	0,976	0,881	0,956	0,256	0,848
	12	0,145	0,293	0,995	0,547	0,963	0,855	0,850	0,000	0,962
24	4	0,175	0,399	0,587	0,843	0,972	0,826	0,532	0,867	0,440
	5	0,159	0,390	0,694	0,842	0,980	0,988	0,651	0,808	0,457
	6	0,073	0,387	0,733	0,710	0,972	0,840	0,751	0,901	0,564
	7	0,070	0,401	0,823	0,717	0,997	0,961	0,687	0,900	0,668
	8	0,006	0,402	0,837	0,613	0,999	0,855	0,781	0,942	0,801
	9	0,004	0,368	0,955	0,605	0,963	0,964	0,850	0,893	0,741
	10	0,016	0,345	0,892	0,592	0,986	0,883	0,895	0,463	0,736
	11	0,016	0,345	0,981	0,592	0,986	0,971	0,977	0,506	0,807
27	4	0,175	0,399	0,522	0,843	0,972	0,734	0,532	0,867	0,440
	5	0,159	0,390	0,617	0,842	0,980	0,878	0,651	0,808	0,457
	6	0,073	0,387	0,652	0,710	0,972	0,746	0,751	0,901	0,564
	7	0,070	0,401	0,732	0,717	0,997	0,854	0,687	0,900	0,668
	8	0,067	0,368	0,845	0,708	0,962	0,972	0,762	0,860	0,618
	9	0,004	0,368	0,849	0,605	0,963	0,857	0,850	0,893	0,741
	10	0,004	0,368	0,943	0,605	0,963	0,952	0,935	0,983	0,816
	11	0,016	0,345	0,872	0,592	0,986	0,863	0,977	0,506	0,807
30	4	0,175	0,399	0,470	0,843	0,972	0,661	0,532	0,867	0,440
	5	0,159	0,390	0,555	0,842	0,980	0,790	0,651	0,808	0,457
	6	0,159	0,390	0,666	0,842	0,980	0,948	0,751	0,932	0,521
	7	0,070	0,401	0,659	0,717	0,997	0,768	0,687	0,900	0,668
	8	0,067	0,368	0,760	0,708	0,962	0,874	0,762	0,860	0,618
	9	0,067	0,368	0,856	0,708	0,962	0,984	0,850	0,956	0,686
	10	0,004	0,368	0,849	0,605	0,963	0,857	0,935	0,983	0,816
	11	0,009	0,384	0,899	0,619	0,991	0,927	0,860	0,912	0,932

	12	0,006	0,354	0,976	0,608	0,961	0,998	0,684	0,722	0,893
--	----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabla 30

Relación Demanda/Capacidad para suelo tipo E variando la capacidad de carga del suelo

Suelo Tipo E										
qu (Ton/m2)	Altura (m)	Volteo Resistencia	Deslizamiento Resistencia	Presiones Resistencia	Volteo Evento Extremo	Deslizamiento Evento Extremo	Presiones Evento Extremo	Corte Pantalla	Corte Talón	Corte Punta
10	4	0,110	0,509	0,977	0,594	0,967	0,900	0,468	0,509	0,561
	5	0,045	0,488	0,998	0,465	0,952	0,808	0,567	0,387	0,642
	6	0,046	0,507	0,970	0,386	0,980	0,716	0,659	0,262	0,860
	7	0,172	0,469	0,985	0,384	0,939	0,668	0,732	0,000	0,967
11	4	0,089	0,511	0,925	0,567	0,953	0,828	0,478	0,711	0,655
	5	0,066	0,518	0,988	0,521	0,979	0,846	0,582	0,560	0,730
	6	0,053	0,506	0,994	0,446	0,979	0,783	0,659	0,353	0,788
	7	0,089	0,466	0,969	0,370	0,937	0,684	0,732	0,140	0,902
12	4	0,167	0,510	0,969	0,675	0,951	0,974	0,478	0,754	0,633
	5	0,143	0,504	0,985	0,632	0,980	0,943	0,567	0,424	0,594
	6	0,045	0,488	0,998	0,465	0,952	0,808	0,659	0,445	0,740
	7	0,060	0,515	0,990	0,422	0,990	0,757	0,592	0,280	0,943
	8	0,030	0,383	0,996	0,271	0,827	0,659	0,802	0,151	0,974
13	4	0,167	0,510	0,895	0,675	0,951	0,899	0,478	0,754	0,633
	5	0,110	0,509	0,939	0,594	0,967	0,866	0,582	0,627	0,702
	6	0,114	0,515	0,977	0,571	0,995	0,870	0,659	0,416	0,720
	7	0,053	0,506	0,981	0,446	0,979	0,773	0,748	0,399	0,899
	8	0,005	0,437	0,990	0,315	0,893	0,695	0,820	0,300	0,980
14	4	0,167	0,510	0,831	0,675	0,951	0,835	0,478	0,754	0,633
	5	0,110	0,509	0,872	0,594	0,967	0,804	0,582	0,627	0,702
	6	0,190	0,496	0,991	0,681	0,991	0,998	0,645	0,330	0,587
	7	0,045	0,488	0,998	0,465	0,952	0,808	0,748	0,504	0,843
	8	0,088	0,479	0,988	0,445	0,959	0,761	0,820	0,270	0,905

	9	0,026	0,336	0,991	0,262	0,776	0,652	0,869	0,150	0,986
15	4	0,167	0,510	0,775	0,675	0,951	0,779	0,478	0,754	0,633
	5	0,178	0,506	0,928	0,695	0,963	0,960	0,582	0,682	0,677
	6	0,110	0,509	0,977	0,594	0,967	0,900	0,673	0,714	0,824
	7	0,114	0,515	0,988	0,571	0,995	0,880	0,748	0,472	0,819
	8	0,050	0,458	0,994	0,435	0,927	0,775	0,820	0,383	0,851
	9	0,003	0,390	0,992	0,306	0,842	0,692	0,888	0,292	0,958

Figura 83

Fallas que controlan el diseño de muros en voladizo de 4 a 12 metros de altura para suelo tipo A

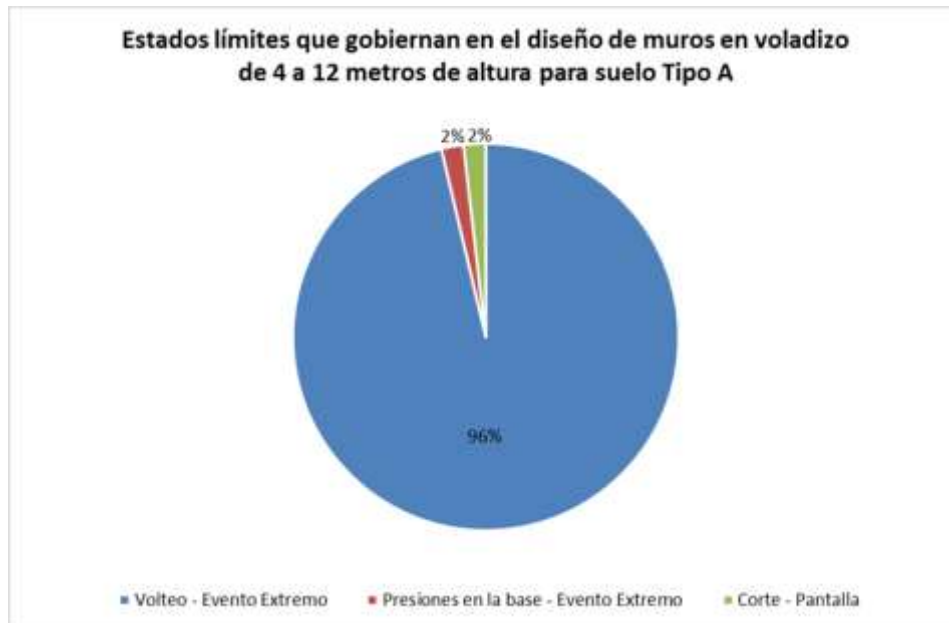


Figura 84

Fallas que controlan el diseño de muros en voladizo de 4 a 12 metros de altura para suelo tipo C

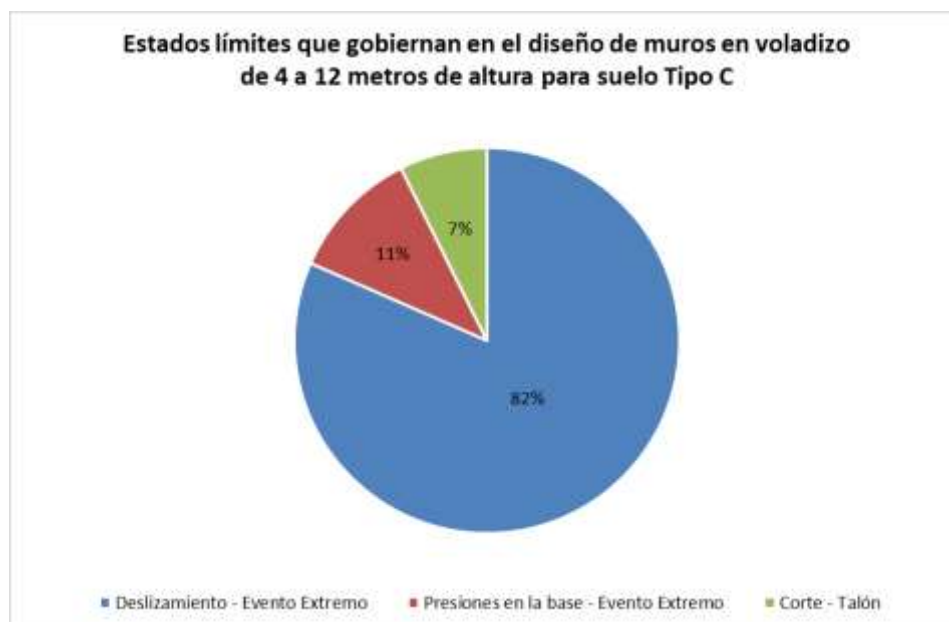
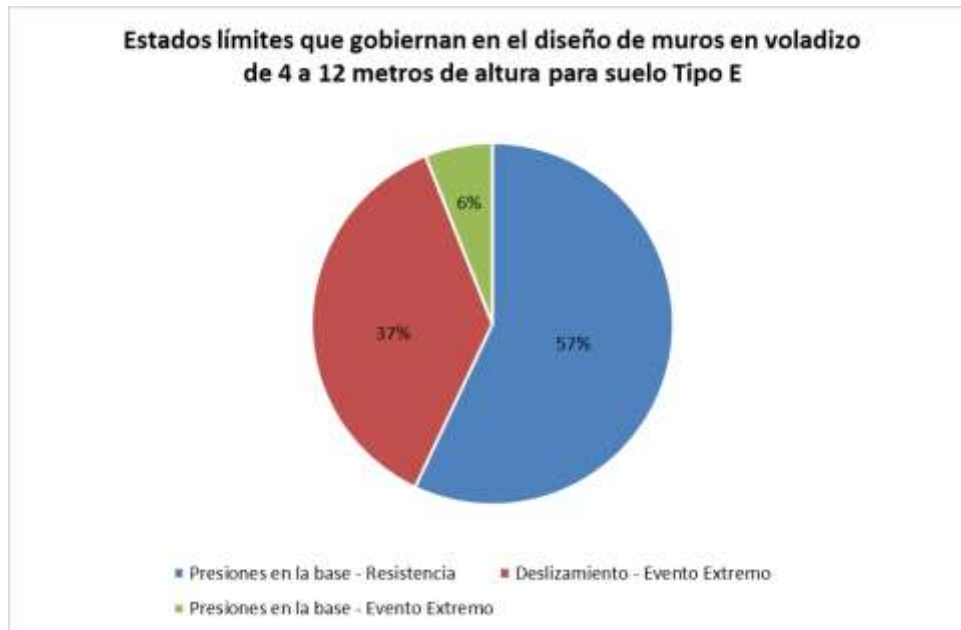


Figura 85

Fallas que controlan el diseño de muros en voladizo de 4 a 12 metros de altura para suelo tipo E



ANEXOS 04

Figura 86

APU de hormigón armado de resistencia $f'c$ 350 kg/cm² proporcionado por el Ingeniero

Genaro Huilacarema

NOMBRE DEL PROPONENTE:

OBRA:

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS		
Rubro:		UNIDAD: m ³
Detalle:	Hormigon estruct./oem. Portl. CL-A $f'c=350$ kg/cm ² (Inc. Encofrado y curado)	RENDIMIENTO: 1.600

EQUIPOS

Descripcion	Cantidad A	Tarifa B	Costo hora C= A x B	Rendimiento R	Costo total D= C x R
Herramientas menores					3.60
Vibrador de manguera	1.00	3.90	3.90	1.600	6.24
SUBTOTAL M					9.84

MANO DE OBRA

Descripcion	Cantidad A	Tarifa B	Costo hora C= A x B	Rendimiento R	Costo total D= C x R
Maestro mayor (Est. Ocup. C1)	1.00	4.33	4.33	1.600	6.93
Peon (Est. Ocup. E2)	6.00	4.05	24.30	1.600	38.88
Albañil (Est. Ocup. D2)	2.00	4.10	8.20	1.600	13.12
Carpintero de ribera (Est. Ocup. D2)	2.00	4.10	8.20	1.600	13.12
SUBTOTAL N					72.05

MATERIALES

Descripcion	Unidad	Cantidad A	P. Unitario B	Costo total C= A X B
Hormigon premezclado, $f'c=350$ Kg/cm ²	m ³	1.03	165.00	169.95
Encofrado de madera	u	1.00	13.70	13.70
Curador	kg	0.20	4.90	0.98
Sika 3 (acelerante)	m ³	1.00	28.00	28.00
Agua	m ³	0.02	2.30	0.05
SUBTOTAL O				212.68

TRANSPORTE

Descripcion	Unidad	Cantidad A	Tarifa B	Costo total C= A X B
SUBTOTAL P				0.00

Total Costo Directo (M+N+O+P)		294.57
Indirectos y Utilidades	15%	44.18
Imprevistos		0.00
Gastos Generales		0.00
Valor Ofertado		338.75

Figura 87

APU de acero de refuerzo Grado 60 fluencia fy 4200 kg/cm2 proporcionado por el Arquitecto

Raúl Villegas

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
Rubro:	1.3.6				UNIDAD:	kg
Detalle:	Acero de refuerzo en barras fy=4200 kg/cm2				RENDIMIENTO:	0,020
EQUIPOS						
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo hora C= A x B	Rendimiento R	Costo total D= C x R	
Herramientas menores					0,02	
Cortadora-dobladora manual	1,00	1,30	1,30	0,020	0,03	
SUBTOTAL M					0,04	
MANDO DE OBRA						
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo hora C= A x B	Rendimiento R	Costo total D= C x R	
Peon (Est. Ocup. E2)	1,00	4,05	4,05	0,020	0,08	
Maestro mayor (Est. Ocup. C1)	2,00	4,33	8,66	0,020	0,17	
Plomeros (Est. Ocup. D2)	1,00	4,10	4,10	0,020	0,08	
SUBTOTAL N					0,34	
MATERIALES						
Descripción	Unidad	Cantidad A	P. Unitario B	Costo total C= A x B		
Acero de refuerzo	kg	1,03	1,20	1,24		
Alambre recocido #18	kg	0,20	1,39	0,28		
SUBTOTAL O					1,51	
TRANSPORTE						
Descripción	Unidad	Cantidad A	Tarifa B	Costo total C= A x B		
Transporte de acero de refuerzo y alambre recocido	kg/km	1,23	0,050	0,06		
SUBTOTAL P					0,06	
Total Costo Directo (M+N+O+P)					1,96	
Indirectos y Utilidades					15%	
Imprevistos					0,00	
Gastos Generales					0,00	
Valor Ofertado					2,24	

Figura 88

APU de acero de refuerzo Grado 60 fluencia fy 4200 kg/cm2 proporcionado por Etinar

GALERIA 1						28-11-2023
Análisis de Precio Unitario						
Descripción						
Clave: 1.3.19						
Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2 (Riostras)						
					Unidad :	kg
					Cantidad :	5,632.50
					Precio unitario :	1.51
					Total :	8,505.08
C	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
Materiales						
	ACER- 2	Acero de refuerzo corrugado fy=4200 kg/cm2	kg	1.05000	1.22	1.28
	MET- 6	Alambre recocido #18	kg	0.02200	1.35	0.03
Total de Materiales						1.31
Mano de Obra						
+	CUAD. ACER	Cuadrilla de acero	hora			
	MO- 4.5	Maestro de obra - C2	(%)mo	0.10000	17.04	1.70
	MO- 3.3	Fierrero - D2	hora	2.00000	3.75	7.50
	MO- 2.3	Ayudante - E2	hora	3.00000	3.18	9.54
					Suma	18.74
					Cantidad : 0.01060	Total
Total de Mano de Obra						0.20
Equipo						
+	EQ 21	Equipo de acero	hora			
	EQ- 35	Cortadora dobladora de hierro	hora	2.00000	1.00	2.00
	EQ- 53	Herramienta menor	(%)eq	0.05000	2.00	0.10
					Suma	2.10
					Cantidad : 0.00000	Total
Total de Equipo						0.00
Auxiliares						
+	T 0					
					Cantidad : 0.00000	Total
Total de Auxiliares						0.00
					Costo Directo	1.51
					Indirectos (0.00%)	0.00
					Precio Unitario	1.51
** UN Dolares 51/100 Ctvos **						

ANEXOS 05

```
import numpy as np
```

```
import pandas as pd
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
import math
```

```
#Propiedades del suelo
```

```
Z=0.50          #Factor Z (PGA)
```

```
 $\phi_f=30$       #Ángulo de fricción interna del suelo
```

```
 $\delta=0$       #Ángulo de fricción entre el relleno y el muro
```

```
 $\beta=0$        #Ángulo de inclinación del relleno activo
```

```
 $\theta=90$     #Ángulo de inclinación de la pantalla
```

```
 $i_{sa}=0$      #Ángulo de inclinación del relleno activo
```

```
 $\beta_2=0$      #Ángulo de inclinación del muro
```

```
 $\gamma_{sa}=1.70$  #Peso específico del relleno activo en Ton/m3
```

```
 $\gamma_{sp}=1.70$  #Peso específico del relleno pasivo en Ton/m3
```

```
 $\phi_{b1}=0.55$    #AASHTO LRFD 20017 Tabla 10.5.5.2.2-1 - Factor de resistencia
```

```
caso estático
```

```
 $\phi_{b2}=0.80$    #AASHTO LRFD 20017 Artículo 11.5.8 - Factor de resistencia
```

```
caso dinámico
```

#Propiedades de los materiales

Concreto="En sitio" #Método constructivo del muro (En sitio o Prefabricado)

$f_c=350$ #Resistencia máxima a compresión del concreto en kg/cm²

$f_y=4200$ #Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo en kg/cm²

$\gamma_c=2.40$ #Peso específico del concreto en Ton/m³

$\gamma_s=7.85$ #Peso específico del acero en Ton/m³

#Datos diseño a flexión y corte

$n=1$ #Factor de modificación de carga

$rec_Pantalla=5$ #Recubrimiento del acero en la pantalla en cm

$rec_Cimentación=7.5$ #Recubrimiento del acero en la cimentación en cm

$b=100$ #Ancho de análisis en cm

#Factores de carga

$\gamma_{Dc_RI}=0.90$ #Factor de carga Dc para Estado Límite de Resistencia I

$\gamma_{Ev_RI}=1$ #Factor de carga Ev para Estado Límite de Resistencia I

$\gamma_{Eh_RI}=1.50$ #Factor de carga Eh para Estado Límite de Resistencia I

$\gamma_{Dc_RII}=1.25$ #Factor de carga Dc para Estado Límite de Resistencia II

$\gamma_{Ev_RII}=1.35$ #Factor de carga Ev para Estado Límite de Resistencia II

$\gamma_{Eh_RII}=1.50$ #Factor de carga Eh para Estado Límite de Resistencia II

$\gamma_{Dc_EEI}=1$ #Factor de carga Dc para Estado Límite de Evento Extremo I

$\gamma_{Ev_EEI}=1$ #Factor de carga Ev para Estado Límite de Evento Extremo I

$\gamma_{Eh_EEI}=1$ #Factor de carga Eh para Estado Límite de Evento Extremo I

$\gamma_{EQ}=1$ #Factor de carga EQ para Estado Límite de Evento Extremo I

#Precio de los materiales

$p_{Acero}=1.73$ #Precio del acero en \$

$p_{Hormigon}=295$ #Precio del hormigón en \$

$p_{Relleno}= 3.75$ #Precio del relleno en \$

#Coeficiente de amplificación de suelo

Valores_Fa={

"A":0.90,

"B":1,

"C":1.18,

"D":1.12,

"E":0.85

#Rangos de capacidad admisible del suelo

Rangos_qu={

"A":[i for i in range(60,81,4)],

"B":[i for i in range(35,61,5)],

"C":[i for i in range(25,41,3)],

"D":[i for i in range(12,31,3)],

"E":[i for i in range(10,16,1)]

def diseño_muro(H,B,x,tw,h1,h2,b3):

 #Cálculo de coeficientes del suelo

 ka=(math.sin((θ+φf)*math.pi/180)**2)/((math.sin(θ*math.pi/180)**2)*(math.sin((θ-δ)*math.pi/180))*((1)+(math.sqrt((math.sin((φf+δ)*math.pi/180))*(math.sin((φf-β)*math.pi/180)))/((math.sin((θ-δ)*math.pi/180))*(math.sin((θ+β)*math.pi/180))))))**2)

 kp=(math.sin((θ-φf)*math.pi/180)**2)/((math.sin(θ*math.pi/180)**2)*(math.sin((θ+δ)*math.pi/180))*((1)-(math.sqrt((math.sin((φf+δ)*math.pi/180))*(math.sin((φf+β)*math.pi/180)))/((math.sin((θ+δ)*math.pi/180))*(math.sin((θ+β)*math.pi/180))))))**2)

 kh=0.5*Fa*Z

 kv=0

 θ2=math.degrees(math.atan((kh/(1+kv))))

 kAE=(math.cos((φf-θ2-β2)*math.pi/180)**2)/((math.cos(θ2*math.pi/180))*(math.cos(β2*math.pi/180)**2)*(math.cos((δ+β2+θ2)*math.pi/180))*((1)+(math.sqrt((math.sin((φf+δ)*math.pi/180))*(math.sin((φf-

$$\theta_2 - i_{sa} * \text{math.pi} / 180) / ((\text{math.cos}((\delta + \beta_2 + \theta_2) * \text{math.pi} / 180)) * (\text{math.cos}((i_{sa} - \beta_2) * \text{math.pi} / 180)))) * 2)$$

""Caso estático-Resistencia""

#Empuje del suelo estático

$$E_a = 0.5 * \gamma_{sa} * H^2 * k_a$$

#Empuje activo

$$h_a = H / 3$$

#Ubicación de la fuerza E_a

$$E_p = 0.5 * \gamma_{sp} * (h_2 + h_1)^2 * k_p$$

#Empuje pasivo

$$h_p = (h_2 + h_1) / 3$$

#Ubicación de la fuerza E_p

#Fuerzas y momentos resistentes sin factorar

$$F_{Dc1} = \gamma_c * B * h_1$$

#Peso de la cimentación

$$F_{Dc2} = \gamma_c * (H - h_1) * t_w$$

#Peso de la pantalla

$$F_{Ev1} = \gamma_{sa} * (B - b_3 - t_w) * (H - h_1)$$

#Peso del relleno activo

$$F_{Ev2} = \gamma_{sa} * b_3 * h_2$$

#Peso del relleno pasivo

$$M_{Dc1} = F_{Dc1} * B / 2$$

#Momento peso de la cimentación

$$M_{Dc2} = F_{Dc2} * (b_3 + t_w / 2)$$

#Momento peso de la pantalla

$$M_{Ev1} = F_{Ev1} * (b_3 + t_w + (B - t_w - b_3) / 2)$$

#Momento relleno activo

$$M_{Ev2}=F_{Ev2}*b3/2$$

#Momento relleno pasivo

#Revisión estado límite de volteo

$$Vru1=\max(\gamma_{Dc_RI}*(F_{Dc1}+F_{Dc2})+\gamma_{Ev_RI}*(F_{Ev1}+F_{Ev2}),\gamma_{Dc_RII}*(F_{Dc1}+F_{Dc2})+\gamma_{Ev_RII}*(F_{Ev1}+F_{Ev2})) \quad \text{\#Fuerza resistente de estado}$$

$$Mru1=\max(\gamma_{Dc_RI}*(M_{Dc1}+M_{Dc2})+\gamma_{Ev_RI}*(M_{Ev1}+M_{Ev2}),\gamma_{Dc_RII}*(M_{Dc1}+M_{Dc2})+\gamma_{Ev_RII}*(M_{Ev1}+M_{Ev2})) \quad \text{\#Momento resistente de estado}$$

$$Mvu1=\max(\gamma_{Eh_RI}*((Ea*ha)-(Ep*hp)),\gamma_{Eh_RII}*((Ea*ha)-(Ep*hp)))$$

#Momento de volteo de estado

if suelo=="C" or suelo=="D" or suelo=="E":

$$e_{\text{máx1}}=B/3$$

elif suelo=="A" or suelo=="B":

$$e_{\text{máx1}}=0.45*B$$

$$e1=(B/2)-((Mru1-Mvu1)/Vru1)$$

#Excentricidad

if e1<=e_máx1 and e1>=0:

Rev_1="Cumple"

else:

Rev_1="No cumple"

dc1=e1/e_máx1

#Relacion demanda/capacidad

#Revisión estado límite de deslizamiento

Vhu1=max($\gamma_{Eh_RI} \cdot (Ea-Ep)$, $\gamma_{Eh_RII} \cdot (Ea-Ep)$) #Fuerza de
deslizamiento de esta límite RI

if Concreto=="En sitio":

$\phi Rn1=1 \cdot Vru1 \cdot \text{math.tan}(\phi \cdot \text{math.pi}/180)$ #Resistencia nominal
al deslizamiento

elif Concreto=="Prefabricado":

$\phi Rn1=0.8 \cdot Vru1 \cdot \text{math.tan}(\phi \cdot \text{math.pi}/180)$

if $\phi Rn1 \geq Vhu1$:

Rev_2="Cumple"

else:

Rev_2="No cumple"

dc2=Vhu1/ $\phi Rn1$

#Relacion demanda/capacidad

#Revisión estado limite de presiones en la base

$V_{ru2} = \max(\gamma_{Dc_RI} * (F_{Dc1} + F_{Dc2}) + \gamma_{Ev_RI} * (F_{Ev1} + F_{Ev2}), \gamma_{Dc_RII} * (F_{Dc1} + F_{Dc2}) + \gamma_{Ev_RII} * (F_{Ev1} + F_{Ev2}))$ #Fuerza resistente de estado

$M_{ru2} = \max(\gamma_{Dc_RI} * (M_{Dc1} + M_{Dc2}) + \gamma_{Ev_RI} * (M_{Ev1} + M_{Ev2}), \gamma_{Dc_RII} * (M_{Dc1} + M_{Dc2}) + \gamma_{Ev_RII} * (M_{Ev1} + M_{Ev2}))$ #Momento resistente de estado

$e2 = (B/2) - ((M_{ru2} - M_{vu1}) / V_{ru2})$ #Excentricidad

if suelo=="C" or suelo=="D" or suelo=="E":

$q1 = V_{ru2} / (B - 2 * e2)$

elif suelo=="A" or suelo=="B":

$q1 = (V_{ru2} / B) * (1 + (6 * e2) / B)$

$q_{r1} = \phi b1 * q_u$ #Capacidad nominal del suelo

if $q_{r1} \geq q1$ and $e2 \geq 0$ and $e2 \leq e_{\text{máx1}}$:

Rev_3="Cumple"

else:

Rev_3="No cumple"

$$dc3=q1/qr1$$

#Relacion demanda/capacidad

""Caso dinámico-Evento extremo""

#Empuje dinámico del suelo

$$PAE=0.5*\gamma_{sa}*H^{**2}*kAE$$

#Empuje activo dinamico

$$EQ=PAE-Ea$$

#Fuerza sismica

$$hAE=0.60*H$$

#Ubicación de la fuerza EQ

$$PIR=kh*(F_Dc1+F_Dc2+F_Ev1+F_Ev2)$$

#Furza inercial

horizontal del muro

$$hPIR=((F_Dc1)*(h1/2)+(F_Dc2)*((h1)+(H-h1)/2)+(F_Ev1)*(h1)+(H-h1)/2)+(F_Ev2)*(h1+h2/2))/(F_Ev1+F_Ev2+F_Dc1+F_Dc2)$$

#Revisión estado límite de volteo

$$Vru3=\gamma_Dc_EEI*(F_Dc1+F_Dc2)+\gamma_Ev_EEI*(F_Ev1+F_Ev2)$$

#Fuerza

resistente de estado límite EEI

$$Mru3=\gamma_Dc_EEI*(M_Dc1+M_Dc2)+\gamma_Ev_EEI*(M_Ev1+M_Ev2)$$

#Momento resistente de estado límite EEI

$$\text{if } PAE+0.5*PIR > (\max(0.5*PAE, Ea)) + PIR:$$

$M_{vu2} = \gamma_{Eh_EEI} * ((EQ * h_{AE}) + (0.5 * PIR * h_{PIR}) + (Ea * ha) - (Ep * hp))$ #Momento
de volteo de estado límite EEI

else:

$$M_{vu2} = \gamma_{Eh_EEI} * ((0.5 * EQ * h_{AE}) + (PIR * h_{PIR}) + (Ea * ha) - (Ep * hp))$$

if $\gamma_{EQ} == 0$:

$$e_{\text{máx}2} = B/3 \quad \text{\#Excentricidad máxima}$$

elif $\gamma_{EQ} == 1$:

$$e_{\text{máx}2} = 0.40 * B$$

$$e_3 = (B/2) - ((M_{ru3} - M_{vu2}) / V_{ru3}) \quad \text{\#Excentricidad}$$

if $e_3 \leq e_{\text{máx}2}$ and $e_3 \geq 0$:

Rev_4="Cumple"

else:

Rev_4="No cumple"

$$dc_4 = e_3 / e_{\text{máx}2} \quad \text{\#Relacion demanda/capacidad}$$

#Revisión estado límite de deslizamiento

if $PAE+0.5*PIR > (\max(0.5*PAE, Ea)) + PIR$:

$$V_{hu2} = \gamma_{Eh_EEI} * (EQ + 0.5 * PIR + Ea - Ep)$$

else:

$$V_{hu2} = \gamma_{Eh_EEI} * (0.5 * EQ + PIR + Ea - Ep)$$

if $Concreto == "En\ sitio"$:

$$\phi R_{n2} = 1 * V_{ru3} * \mathit{math.tan}(\phi * \mathit{math.pi} / 180)$$

#Resistencia nominal al

deslizamiento

elif $Concreto == "Prefabricado"$:

$$\phi R_{n2} = 0.8 * V_{ru3} * \mathit{math.tan}(\phi * \mathit{math.pi} / 180)$$

if $\phi R_{n2} \geq V_{hu2}$:

Rev_5 = "Cumple"

else:

Rev_5 = "No cumple"

$$dc5 = V_{hu2} / \phi R_{n2}$$

#Relacion demanda/capacidad

#Revisión estado limite de presiones en la bases

if $suelo == "C"$ or $suelo == "D"$ or $suelo == "E"$:

$$q2=Vru3/(B-2*e3)$$

elif suelo=="A" or suelo=="B":

$$q2=(Vru3/B)*(1+(6*e3)/B)$$

$$qr2=\phi b2*qu$$

#Capacidad nominal del suelo

if qr2>=q2:

Rev_6="Cumple"

else:

Rev_6="No cumple"

$$dc6=q2/qr2$$

#Relacion demanda/capacidad

""Diseño a flexión""

#Pantalla (Acero cara en contacto con el relleno)

$$d1=tw*100-rec_Pantalla$$

#Peralte efectivo

$$fr=2*\text{math.sqrt}(fc)$$

#Esfuerzo de agrietamiento

$$s1=b*(tw*100)**2/6$$

#Modulo de sección de la pantalla

$$EH_Pantalla=0.5*\gamma sa*(H-h1)**2*ka$$

#Fuerza de empuje activo

en la pantalla

$ha_Pantalla=(H-h1)/3$ #Ubicación de la fuerza EH_Pantalla

$EQ_Pantalla=0.5*\gamma_{sa}*(H-h1)**2*k_{AE}-EH_Pantalla$ #Fuerza sísmica en
la pantalla

$h_{AE_Pantalla}=0.6*(H-h1)$ #Ubicación de la fuerza
EQ_Pantalla

$PIR_Pantalla=kh*F_Dc2$ #Fuerza inercial de la pantalla

$h_{PIR_Pantalla}=(H-h1)/2$ #Ubicación de la fuerza
PIR_Pantalla

if

$(EH_Pantalla+EQ_Pantalla)+0.5*PIR_Pantalla > (\max(0.5*(EH_Pantalla+EQ_Pantalla), EH_Pantalla))+PIR_Pantalla:$

$M1=n*((\gamma_{EQ}*EQ_Pantalla*h_{AE_Pantalla})+(\gamma_{EQ}*0.5*PIR_Pantalla*h_{PIR_Pantalla})+(\gamma_{Eh_EEI}*EH_Pantalla*ha_Pantalla))$

else:

$M1=n*((\gamma_{EQ}*0.5*EQ_Pantalla*h_{AE_Pantalla})+(\gamma_{EQ}*PIR_Pantalla*h_{PIR_Pantalla})+(\gamma_{Eh_EEI}*EH_Pantalla*ha_Pantalla))$

$M2=n*(\gamma_{Eh_RI}*EH_Pantalla*ha_Pantalla)$

$M3=n*(\gamma_{Eh_RII}*EH_Pantalla*ha_Pantalla)$

$Mu1 = \max(M1, M2, M3)$ #Momento ultimo actuando
en la pantalla

$Mmin1 = \min(1.2 * f_r * s1 / 100000, 1.33 * Mu1)$ #Momento para acero
minimo

$$A1 = 0.9 * (f_y ** 2) / (1.7 * f_c * b)$$

$$B1 = -0.9 * f_y * d1$$

$$C1 = Mu1 * 100000$$

$$discr1 = B1 ** 2 - 4 * A1 * C1$$

$$Asq1 = (-B1 + \text{math.sqrt}(discr1)) / (2 * A1)$$

$$Asq2 = (-B1 - \text{math.sqrt}(discr1)) / (2 * A1)$$

$As1 = \min(Asq1, Asq2)$ #Acero debido al momento
ultimo

$$A2 = 0.9 * (f_y ** 2) / (1.7 * f_c * b)$$

$$B2 = -0.9 * f_y * d1$$

$$C2 = Mmin1 * 100000$$

$$discr2 = B2 ** 2 - 4 * A2 * C2$$

$$Asq3 = (-B2 + \text{math.sqrt}(discr2)) / (2 * A2)$$

$$Asq4 = (-B2 - \text{math.sqrt}(discr2)) / (2 * A2)$$

$Asmin1 = \min(Asq3, Asq4)$ #Acero minimo

$$As_req1=\max(As1,Asmin1)$$

#Acero requerido

#Pantalla (Acero cara opuesta al relleno)

$$As_temp1=(0.18*b*tw*100)/(2*(b+tw*100))$$

#Acero por

temperatura

if $As_temp1 < 2.33$:

$$As_temp1=2.33$$

elif $As_temp1 > 12.70$:

$$As_temp1=12.70$$

#Pantalla (Acero cara perpendicular a la principal o acero transversal)

$$As_temp2=(0.18*(H-h1)*100*tw*100)/(2*((H-h1)*100+tw*100))$$

#Acero

por temperatura

if $As_temp2 < 2.33$:

$$As_temp2=2.33$$

elif $As_temp2 > 12.70$:

$$As_temp2=12.70$$

#Talón (Acero superior)

$$d2=h1*100-rec_Cimentación$$

#Peralte efectivo

$$s2=b*(h1*100)**2/6$$

#Modulo de sección de la

pantalla

$$Ev_sa=(B-b3-tw)*(H-h1)*\gamma sa$$

#Fuerza de empuje vertical

del relleno activo

$$Dc_Talón=(B-tw-b3)*h1*\gamma c$$

#Fuerza de empuje vertical

del talón

$$M4=n*((\gamma_Ev_RI*Ev_sa*(B-tw-b3)/2)+(\gamma_Dc_RI*Dc_Talón*(B-tw-b3)/2))$$

$$M5=n*((\gamma_Ev_RII*Ev_sa*(B-tw-b3)/2)+(\gamma_Dc_RII*Dc_Talón*(B-tw-b3)/2))$$

$$Mu2=\max(M4,M5)$$

#Momento ultimo actuando

en el talón

$$Mmin2=\min(1.2*fr*s2/100000,1.33*Mu2)$$

#Momento para

acero minimo

$$A3=0.9*(fy**2)/(1.7*fc*b)$$

$$B3=-0.9*fy*d2$$

$$C3=Mu2*100000$$

$$discr3=B3**2-4*A3*C3$$

if discr3>=0:

$$Asq5=(-B3+math.sqrt(discr3))/(2*A3)$$

$$Asq6=(-B3-\text{math.sqrt}(\text{discr3}))/2*A3)$$

$$As2=\text{min}(Asq5,Asq6)$$

#Acero debido al

momento ultimo

$$A4=0.9*(fy**2)/(1.7*fc*b)$$

$$B4=-0.9*fy*d2$$

$$C4=Mmin2*100000$$

$$\text{discr4}=B4**2-4*A4*C4$$

$$Asq7=(-B4+\text{math.sqrt}(\text{discr4}))/2*A4)$$

$$Asq8=(-B4-\text{math.sqrt}(\text{discr4}))/2*A4)$$

$$Asmin2=\text{min}(Asq7,Asq8)$$

#Acero minimo

$$As_req2=\text{max}(As2,Asmin2)$$

#Acero requerido

#Punta (Acero inferior)

$$qmax=\text{max}((Vru2/B)*(1+(6*e2)/B),(Vru1/B)*(1+(6*e1)/B))$$

#Esfuerzo

de contacto máximo

$$qmin=\text{max}((Vru2/B)*(1-(6*e2)/B),(Vru1/B)*(1-(6*e1)/B))$$

#Esfuerzo

de contacto mínimo

$$qpunta=\text{np.interp}(b3,[0,B],[qmax,qmin])$$

#Esfuerzo de

contacto en la punta

$$\text{Mu3}=(b3^{**2}/6)*(qpunta+2*qmax)$$

#Momento

último actuando en la punta

$$\text{Mmin3}=\min(1.2*fr*s2/100000,1.33*\text{Mu3})$$

#Momento

para acero minimo

$$\text{A5}=0.9*(fy^{**2})/(1.7*fc*b)$$

$$\text{B5}=-0.9*fy*d2$$

$$\text{C5}=\text{Mu3}*100000$$

$$\text{discr5}=\text{B5}^{**2}-4*\text{A5}*\text{C5}$$

if discr5>=0:

$$\text{Asq9}=(-\text{B5}+\text{math.sqrt}(\text{discr5}))/(2*\text{A5})$$

$$\text{Asq10}=(-\text{B5}-\text{math.sqrt}(\text{discr5}))/(2*\text{A5})$$

$$\text{As3}=\min(\text{Asq9},\text{Asq10})$$

#Acero debido al

momento ultimo

$$\text{A6}=0.9*(fy^{**2})/(1.7*fc*b)$$

$$\text{B6}=-0.9*fy*d2$$

$$\text{C6}=\text{Mmin3}*100000$$

$$\text{discr6}=\text{B6}^{**2}-4*\text{A6}*\text{C6}$$

if discr6>=0:

$$Asq11=(-B6+math.sqrt(discr6))/(2*A6)$$

$$Asq12=(-B6-math.sqrt(discr6))/(2*A6)$$

$$Asmin3=min(Asq11,Asq12) \quad \#Acero$$

minimo

$$As_req3=max(As3,Asmin3) \quad \#Acero$$

requerido

#Cimentación (Aceros cara perpendicular o acero transversal)

$$As_temp3=(0.18*B*100*h1*100)/(2*(B*100+h1*100))$$

#Acero por temperatura

if As_temp3<2.33:

$$As_temp3=2.33$$

elif As_temp3>12.70:

$$As_temp3=12.70$$

""Revisión a cortante""

#Pantalla

$$a1=(As_req1*fy)/(0.85*fc*b)$$

$$dv1=\max(d1-a1/2,0.9*d1,0.72*tw*100)$$

if

$(EH_Pantalla+EQ_Pantalla)+0.5*PIR_Pantalla > (\max(0.5*(EH_Pantalla+EQ_Pantalla), EH_Pantalla))+PIR_Pantalla:$

$$V1=n*((\gamma_EQ*EQ_Pantalla)+(\gamma_EQ*0.5*PIR_Pantalla)+(\gamma_Eh_EEI*EH_Pantalla))$$

else:

$$V1=n*((\gamma_EQ*0.5*EQ_Pantalla)+(\gamma_EQ*PIR_Pantalla)+(\gamma_Eh_EEI*EH_Pantalla))$$

$$V2=n*(\gamma_Eh_RI*EH_Pantalla)$$

$$V3=n*(\gamma_Eh_RII*EH_Pantalla)$$

$$Vu1=\max(V1,V2,V3)$$

$$\phi Vn1=\min(0.9*0.53*\text{math.sqrt}(fc)*b*dv1/1000,0.9*0.25*fc*b*dv1/1000)$$

if $\phi Vn1 \geq Vu1:$

Rev_7="Cumple"

else:

Rev_7="No cumple"

```

dc7=Vu1/φVn1
#Relacion

demanda/capacidad

#Talón

a2=(As_req2*fy)/(0.85*fc*b)

dv2=max(d2-a2/2,0.9*d2,0.72*h1*100)

V4=n*((γ_Ev_RI*Ev_sa)+(γ_Dc_RI*Dc_Talón))

V5=n*((γ_Ev_RII*Ev_sa)+(γ_Dc_RII*Dc_Talón))

Vu2=max(V4,V5)
#Momento

ultimo actuando en el talón

φVn2=min(0.9*0.53*math.sqrt(fc)*b*dv2/1000,0.9*0.25*fc*b*dv2/1000)

if φVn2>=Vu2:

    Rev_8="Cumple"

else:

    Rev_8="No cumple"

dc8=Vu2/φVn2
#Relacion

demanda/capacidad

```

#Punta

$$a_3 = (A_{s_req3} * f_y) / (0.85 * f_c * b)$$

$$d_{v3} = \max(d_2 - a_3 / 2, 0.9 * d_2, 0.72 * h_1 * 100)$$

$$q_{dv3} = \text{np.interp}(b_3 - d_{v3} / 100, [0, B], [q_{\max}, q_{\min}])$$

#Esfuerzo de contacto a una distancia dv

$$V_{u3} = (q_{\max} + q_{dv3}) * (b_3 - d_{v3} / 100) / 2$$

$$\phi V_{n3} = \min(0.9 * 0.53 * \text{math.sqrt}(f_c) * b * d_{v3} / 1000, 0.9 * 0.25 * f_c * b * d_{v3} / 1000)$$

if $\phi V_{n3} \geq V_{u3}$:

Rev_9="Cumple"

else:

Rev_9="No cumple"

$$dc_9 = V_{u3} / \phi V_{n3}$$

#Relacion

demanda/capacidad

""""Volumen de hormigón""""

$$V_{\text{pantalla}} = t_w * (H - h_1)$$

#Volumen

de hormigon de la pantalla en m3

$$V_{\text{cimentacion}}=B \cdot h_1$$

#Volumen

de hormigon de la cimentación en m3

$$V_{\text{hormigon}}=V_{\text{pantalla}}+V_{\text{cimentacion}}$$

#Volumen de hormigon del muro en m3

""""Volumen del relleno""""

if suelo=="A":

$$\alpha=5$$

elif suelo=="B":

$$\alpha=40$$

elif suelo=="C":

$$\alpha=45$$

elif suelo=="D":

$$\alpha=55$$

elif suelo=="E":

$$\alpha=55$$

$$V_{\text{pasivo}}=h_2 \cdot b_3$$

#Volumen

de relleno pasivo en m3

$$V_{\text{activo}}=x \cdot (H-h_1)+H \cdot (\mathit{math.tan}(\alpha \cdot \mathit{math.pi}/180)) \cdot H/2$$

#Volumen de relleno activo en m3

$$V_{\text{relleno}}=V_{\text{pasivo}}+V_{\text{activo}}$$

#Volumen

de relleno total

""Kilogramos de acero""

$$\begin{aligned} P_{yp_pantalla} &= (A_{s_req1}/100^{**2}) * ((H-h1)- \\ & (rec_Pantalla/100)+(h1-rec_Pantalla/100)) * \gamma_s * 1000 \end{aligned} \quad \#Acero \text{ en contacto con el relleno pasivo}$$

$$\begin{aligned} P_{ys_pantalla} &= (A_{s_temp1}/100^{**2}) * ((H-h1)- \\ & (rec_Pantalla/100)+(h1-rec_Pantalla/100)) * \gamma_s * 1000 \end{aligned} \quad \#Acero \text{ cara opuesta al relleno pasivo}$$

$$\begin{aligned} P_{zdi_pantalla} &= 2 * (A_{s_temp2}/100^{**2}) * ((b/100)- \\ & 2 * rec_Pantalla/100) * \gamma_s * 1000 \end{aligned} \quad \#Acero \text{ transversal}$$

$$\begin{aligned} P_{xs_cimentacion} &= (A_{s_req2}/100^{**2}) * (B- \\ & 2 * rec_Cimentación/100) * \gamma_s * 1000 \end{aligned} \quad \#Acero \text{ cimentacion superior}$$

$$\begin{aligned} P_{xi_cimentacion} &= (A_{s_req3}/100^{**2}) * (B- \\ & 2 * rec_Cimentación/100) * \gamma_s * 1000 \end{aligned} \quad \#Acero \text{ cimentacion inferior}$$

$$\begin{aligned} P_{ysi_cimentacion} &= 2 * (A_{s_temp3}/100^{**2}) * ((b/100)- \\ & 2 * rec_Cimentación/100) * \gamma_s * 1000 \end{aligned} \quad \#Acero \text{ cimentacion temperatura}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso_acero} &= P_{yp_pantalla} + P_{ys_pantalla} + P_{zdi_pantalla} + P_{xs_cimentacion} + P_{xi_cimentacion} \\ & + P_{ysi_cimentacion} \end{aligned}$$

""Precio del muro para un ancho de análisis de 1m""

$C_{\text{hormigon}}=p_{\text{Hormigon}}*V_{\text{hormigon}}$

$C_{\text{relleno}}=p_{\text{Relleno}}*V_{\text{relleno}}$

$C_{\text{acero}}=p_{\text{Acero}}*\text{Peso}_{\text{acero}}$

$\text{Costo}_{\text{muro}}=C_{\text{hormigon}}+C_{\text{relleno}}+C_{\text{acero}}$

$\text{Porcentaje}_{\text{hormigon}}=(C_{\text{hormigon}}/\text{Costo}_{\text{muro}})*100$

$\text{Porcentaje}_{\text{relleno}}=(C_{\text{relleno}}/\text{Costo}_{\text{muro}})*100$

$\text{Porcentaje}_{\text{acero}}=(C_{\text{acero}}/\text{Costo}_{\text{muro}})*100$

if $\text{Rev}_1=="\text{Cumple}"$ and $\text{Rev}_2=="\text{Cumple}"$ and
 $\text{Rev}_3=="\text{Cumple}"$ and $\text{Rev}_4=="\text{Cumple}"$ and $\text{Rev}_5=="\text{Cumple}"$ and $\text{Rev}_6=="\text{Cumple}"$
and $\text{Rev}_7=="\text{Cumple}"$ and $\text{Rev}_8=="\text{Cumple}"$ and $\text{Rev}_9=="\text{Cumple}"$:

$\text{Rev}_{\text{Total}}="Cumple"$

else:

$\text{Rev}_{\text{Total}}="No\ cumple"$

else:

$\text{Rev}_{\text{Total}}="No\ cumple"$

$\text{Costo}_{\text{muro}}=0$

dc7=0

dc8=0

dc9=0

Porcentaje_hormigon=0

Porcentaje_relleno=0

Porcentaje_acero=0

else:

Rev_Total="No cumple"

Costo_muro=0

dc7=0

dc8=0

dc9=0

Porcentaje_hormigon=0

Porcentaje_relleno=0

Porcentaje_acero=0

else:

Rev_Total="No cumple"

Costo_muro=0

dc7=0

dc8=0

dc9=0

Porcentaje_hormigon=0

Porcentaje_relleno=0

Porcentaje_acero=0

dem_cap=[dc1,dc2,dc3,dc4,dc5,dc6,dc7,dc8,dc9]

porc_costo=[Porcentaje_hormigon,Porcentaje_relleno,Porcentaje_acero]

return Costo_muro, Rev_Total, dem_cap, porc_costo

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

d = [] #TODOS LOS DATOS GUARDADOS

dato_cumple=[] #TODOS DATOS GUARDADOS QUE CUMPLEN

demanda_capacidad=[]

demanda_capacidad_cum=[]

porcentaje_costo=[]

for B in Bl:

for x in xl[Bl.index(B)]:

```

for tw in twl:

    for h1 in h1l:

        b3=B-x-tw

        h2=0.15*H

        if b3 > 0.01*B:

            costo_cumplimiento=diseño_muro(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]

                porc_costo=costo_cumplimiento[3]

                d.append([B,round(x,2),tw,h1,round(costo,2),cumple])

demanda_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]])

        if cumple=="Cumple":

            dato_cumple.append([B,round(x,2),tw,h1,round(costo,2),cumple])

demanda_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]])

```

```
porcentaje_costo.append([B,round(x,2),tw,h1,round(costo,2),porc_costo[0],porc_costo[1],porc_costo[2]])
```

```
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(demanda_capacidad_cum,columns=["Base","x","tw","h1","dc1","dc2","dc3","dc4","dc5","dc6","dc7","dc8","dc9"])
```

```
Final_Demanda_Capacidad_Cumple=[H]+list(Dato_Demanda_Capacidad.loc[lugarC,["Base","x","tw","h1","dc1","dc2","dc3","dc4","dc5","dc6","dc7","dc8","dc9"]])
```

```
Dato_Porcentaje_Costo=pd.DataFrame(porcentaje_costo,columns=["Base","x","tw","h1","Costo","Porcentaje_hormigon","Porcentaje_relleno","Porcentaje_acero"])
```

```
Final_Porcentaje_Costo=[H]+list(Dato_Porcentaje_Costo.loc[lugarC,["Base","x","tw","h1","Costo","Porcentaje_hormigon","Porcentaje_relleno","Porcentaje_acero"]])
```

```
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]
```

```
Final_Porcentaje_Costo=[H,0,0,0,0,0,0,0]
```

```
print(FinalC)
```

```
return FinalT,FinalC, Final_Demanda_Capacidad_Cumple, Final_Porcentaje_Costo
```

```
for suelo in Valores_Fa:
```

```
    resultados_T = []
```

```
    resultados_C = []
```

```
    resultados_demanda_capacidad_cumple=[]
```

```
    resultados_porcentaje_costo=[]
```

```
    Fa=float(Valores_Fa[suelo])
```

```
    for qu in Rangos_qu[suelo]:
```

```
        Hl = list(range(4,13))
```

for H in Hl:

Bl=[(Pb*H)/100 for Pb in range(50,166,5)]

xl=[[(Px*B)/100 for Px in range(0,91,5)] for B in Bl]

twl=[(Ptw*H)/100 for Ptw in range(5,18,1)]

h1l=[(Ph1*H)/100 for Ph1 in range(5,18,1)]

Final= eficiente_por_altura(H,Bl,xl,twl,h1l)

resultados_T.append(Final[0])

if not Final[1][6]=="No Valido":

resultados_C.append([qu]+Final[1])

resultados_demanda_capacidad_cumple.append(Final[2])

resultados_porcentaje_costo.append([qu]+Final[3])

if suelo=="A":

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

FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_A=pd.DataFrame(resultados_demanda_capacidad_cumple,columns=["Altura","Base","x","tw","h1","dc1","dc2","dc3","dc4","dc5","dc6","dc7","dc8","dc9"])

```
FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_A=pd.DataFrame(resultados_porcentaje_
_costo,columns=["qu","Altura","Base","x","tw","h1","Costo","Porcentaje_hormigon","Porcentaje_relleno","Porcentaje_acero"])
```

```
if suelo=="B":
```

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

```
FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_B=pd.DataFrame(resultados_demanda_
capacidad_cumple,columns=["Altura","Base","x","tw","h1","dc1","dc2","dc3","dc4","dc5",
,"dc6","dc7","dc8","dc9"])
```

```
FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_B=pd.DataFrame(resultados_porcentaje_
_costo,columns=["qu","Altura","Base","x","tw","h1","Costo","Porcentaje_hormigon","Porcentaje_relleno","Porcentaje_acero"])
```

```
if suelo=="C":
```

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

```
FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_C=pd.DataFrame(resultados_demanda_
```

```
a_capacidad_cumple,columns=["Altura","Base","x","tw","h1","dc1","dc2","dc3","dc4","dc5",  
,"dc6","dc7","dc8","dc9"])
```

```
FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_C=pd.DataFrame(resultados_porcentaje  
_costo,columns=["qu","Altura","Base","x","tw","h1","Costo","Porcentaje_hormigon","Porce  
ntaje_relleno","Porcentaje_acero"])
```

```
if suelo=="D":
```

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

```
FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_D=pd.DataFrame(resultados_deman  
da_capacidad_cumple,columns=["Altura","Base","x","tw","h1","dc1","dc2","dc3","dc4","dc5",  
,"dc6","dc7","dc8","dc9"])
```

```
FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_D=pd.DataFrame(resultados_porcentaje  
_costo,columns=["qu","Altura","Base","x","tw","h1","Costo","Porcentaje_hormigon","Porce  
ntaje_relleno","Porcentaje_acero"])
```

```
if suelo=="E":
```

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

```
FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_E=pd.DataFrame(resultados_demand
```

```
a_capacidad_cumple,columns=["Altura","Base","x","tw","h1","dc1","dc2","dc3","dc4","dc5",  
,"dc6","dc7","dc8","dc9"])
```

```
FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_E=pd.DataFrame(resultados_porcentaje  
_costo,columns=["qu","Altura","Base","x","tw","h1","Costo","Porcentaje_hormigon","Porce  
ntaje_relleno","Porcentaje_acero"])
```

```
RESULTADOS_A=pd.DataFrame()
```

```
RESULTADOS_A["qu"]=FINAL_C_A["qu"]
```

```
RESULTADOS_A["Altura"]=FINAL_C_A["Altura"]
```

```
RESULTADOS_A["Costo"]=round(FINAL_C_A["Costo"],2)
```

```
RESULTADOS_A["B/H"]=FINAL_C_A["Base"]/FINAL_C_A["Altura"]
```

```
RESULTADOS_A["x/B"]=round(FINAL_C_A["x"]/FINAL_C_A["Base"],2)
```

```
RESULTADOS_A["tw/H"]=FINAL_C_A["tw"]/FINAL_C_A["Altura"]
```

```
RESULTADOS_A["h1/H"]=FINAL_C_A["h1"]/FINAL_C_A["Altura"]
```

```
PORCENTAJE_A=pd.DataFrame()
```

```
PORCENTAJE_A["qu"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_A["qu"]
```

```
PORCENTAJE_A["Altura"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_A["Altura"]
```

```
PORCENTAJE_A["Base"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_A["Base"]
```

```
PORCENTAJE_A["x"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_A["x"]
```


PORCENTAJE_A["tw"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_A["tw"]

PORCENTAJE_A["h1"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_A["h1"]

PORCENTAJE_A["Porcentaje_hormigon"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_A["Porcentaje_hormigon"]

PORCENTAJE_A["Porcentaje_relleno"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_A["Porcentaje_relleno"]

PORCENTAJE_A["Porcentaje_acero"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_A["Porcentaje_acero"]

DEMANDA_CAPACIDAD_A=pd.DataFrame()

DEMANDA_CAPACIDAD_A["Altura"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_A["Altura"]

DEMANDA_CAPACIDAD_A["Base"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_A["Base"]

DEMANDA_CAPACIDAD_A["x"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_A["x"]

DEMANDA_CAPACIDAD_A["tw"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_A["tw"]

DEMANDA_CAPACIDAD_A["h1"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_A["h1"]

DEMANDA_CAPACIDAD_A["dc1"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_A["dc1"]

DEMANDA_CAPACIDAD_A["dc2"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_A["dc2"]

DEMANDA_CAPACIDAD_A["dc3"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_A["dc3"]

DEMANDA_CAPACIDAD_A["dc4"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_A["dc4"]

DEMANDA_CAPACIDAD_A["dc5"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_A["dc5"]

DEMANDA_CAPACIDAD_A["dc6"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_A["dc6"]

DEMANDA_CAPACIDAD_A["dc7"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_A["dc7"]

DEMANDA_CAPACIDAD_A["dc8"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_A["dc8"]

DEMANDA_CAPACIDAD_A["dc9"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_A["dc9"]

RESULTADOS_B=pd.DataFrame()

RESULTADOS_B["qu"]=FINAL_C_B["qu"]

RESULTADOS_B["Altura"]=FINAL_C_B["Altura"]

RESULTADOS_B["Costo"]=round(FINAL_C_B["Costo"],2)

RESULTADOS_B["B/H"]=FINAL_C_B["Base"]/FINAL_C_B["Altura"]

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

RESULTADOS_B["tw/H"]=FINAL_C_B["tw"]/FINAL_C_B["Altura"]

RESULTADOS_B["h1/H"]=FINAL_C_B["h1"]/FINAL_C_B["Altura"]

PORCENTAJE_B=pd.DataFrame()

PORCENTAJE_B["qu"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_B["qu"]

PORCENTAJE_B["Altura"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_B["Altura"]

PORCENTAJE_B["Base"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_B["Base"]

PORCENTAJE_B["x"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_B["x"]

PORCENTAJE_B["tw"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_B["tw"]

PORCENTAJE_B["h1"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_B["h1"]

PORCENTAJE_B["Porcentaje_hormigon"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_B["Porcentaje_hormigon"]

PORCENTAJE_B["Porcentaje_relleno"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_B["Porcentaje_relleno"]

PORCENTAJE_B["Porcentaje_acero"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_B["Porcentaje_acero"]

DEMANDA_CAPACIDAD_B=pd.DataFrame()

DEMANDA_CAPACIDAD_B["Altura"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_B["Altura"]

DEMANDA_CAPACIDAD_B["Base"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_B["Base"]

DEMANDA_CAPACIDAD_B["x"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_B["x"]

DEMANDA_CAPACIDAD_B["tw"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_B["tw"]

DEMANDA_CAPACIDAD_B["h1"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_B["h1"]

DEMANDA_CAPACIDAD_B["dc1"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_B["dc1"]

DEMANDA_CAPACIDAD_B["dc2"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_B["dc2"]

DEMANDA_CAPACIDAD_B["dc3"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_B["dc3"]

DEMANDA_CAPACIDAD_B["dc4"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_B["dc4"]

DEMANDA_CAPACIDAD_B["dc5"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_B["dc5"]

DEMANDA_CAPACIDAD_B["dc6"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_B["dc6"]

DEMANDA_CAPACIDAD_B["dc7"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_B["dc7"]

```
DEMANDA_CAPACIDAD_B["dc8"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_B["dc8"]
```

```
DEMANDA_CAPACIDAD_B["dc9"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_B["dc9"]
```

```
RESULTADOS_C=pd.DataFrame()
```

```
RESULTADOS_C["qu"]=FINAL_C_C["qu"]
```

```
RESULTADOS_C["Altura"]=FINAL_C_C["Altura"]
```

```
RESULTADOS_C["Costo"]=round(FINAL_C_C["Costo"],2)
```

```
RESULTADOS_C["B/H"]=FINAL_C_C["Base"]/FINAL_C_C["Altura"]
```

```
RESULTADOS_C["x/B"]=round(FINAL_C_C["x"]/FINAL_C_C["Base"],2)
```

```
RESULTADOS_C["tw/H"]=FINAL_C_C["tw"]/FINAL_C_C["Altura"]
```

```
RESULTADOS_C["h1/H"]=FINAL_C_C["h1"]/FINAL_C_C["Altura"]
```

```
PORCENTAJE_C=pd.DataFrame()
```

```
PORCENTAJE_C["qu"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_C["qu"]
```

```
PORCENTAJE_C["Altura"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_C["Altura"]
```

```
PORCENTAJE_C["Base"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_C["Base"]
```

```
PORCENTAJE_C["x"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_C["x"]
```

```
PORCENTAJE_C["tw"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_C["tw"]
```

PORCENTAJE_C["h1"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_C["h1"]

PORCENTAJE_C["Porcentaje_hormigon"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_C["Porcentaje_hormigon"]

PORCENTAJE_C["Porcentaje_relleno"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_C["Porcentaje_relleno"]

PORCENTAJE_C["Porcentaje_acero"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_C["Porcentaje_acero"]

DEMANDA_CAPACIDAD_C=pd.DataFrame()

DEMANDA_CAPACIDAD_C["Altura"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_C["Altura"]

DEMANDA_CAPACIDAD_C["Base"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_C["Base"]

DEMANDA_CAPACIDAD_C["x"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_C["x"]

DEMANDA_CAPACIDAD_C["tw"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_C["tw"]

DEMANDA_CAPACIDAD_C["h1"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_C["h1"]

DEMANDA_CAPACIDAD_C["dc1"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_C["dc1"]

DEMANDA_CAPACIDAD_C["dc2"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_C["dc2"]

DEMANDA_CAPACIDAD_C["dc3"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_C["dc3"]

DEMANDA_CAPACIDAD_C["dc4"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_C["dc4"]

DEMANDA_CAPACIDAD_C["dc5"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_C["dc5"]

DEMANDA_CAPACIDAD_C["dc6"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_C["dc6"]

DEMANDA_CAPACIDAD_C["dc7"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_C["dc7"]

DEMANDA_CAPACIDAD_C["dc8"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_C["dc8"]

DEMANDA_CAPACIDAD_C["dc9"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_C["dc9"]

RESULTADOS_D=pd.DataFrame()

RESULTADOS_D["qu"]=FINAL_C_D["qu"]

RESULTADOS_D["Altura"]=FINAL_C_D["Altura"]

RESULTADOS_D["Costo"]=round(FINAL_C_D["Costo"],2)

RESULTADOS_D["B/H"]=FINAL_C_D["Base"]/FINAL_C_D["Altura"]

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

RESULTADOS_D["tw/H"]=FINAL_C_D["tw"]/FINAL_C_D["Altura"]

RESULTADOS_D["h1/H"]=FINAL_C_D["h1"]/FINAL_C_D["Altura"]

PORCENTAJE_D=pd.DataFrame()

PORCENTAJE_D["qu"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_D["qu"]

PORCENTAJE_D["Altura"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_D["Altura"]

PORCENTAJE_D["Base"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_D["Base"]

PORCENTAJE_D["x"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_D["x"]

PORCENTAJE_D["tw"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_D["tw"]

PORCENTAJE_D["h1"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_D["h1"]

PORCENTAJE_D["Porcentaje_hormigon"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_D["Porcentaje_hormigon"]

PORCENTAJE_D["Porcentaje_relleno"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_D["Porcentaje_relleno"]

PORCENTAJE_D["Porcentaje_acero"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_D["Porcentaje_acero"]

DEMANDA_CAPACIDAD_D=pd.DataFrame()

DEMANDA_CAPACIDAD_D["Altura"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_D["Altura"]

DEMANDA_CAPACIDAD_D["Base"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_D["Base"]

DEMANDA_CAPACIDAD_D["x"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_D["x"]

DEMANDA_CAPACIDAD_D["tw"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_D["tw"]

DEMANDA_CAPACIDAD_D["h1"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_D["h1"]

DEMANDA_CAPACIDAD_D["dc1"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_D["dc1"]

DEMANDA_CAPACIDAD_D["dc2"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_D["dc2"]

DEMANDA_CAPACIDAD_D["dc3"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_D["dc3"]

DEMANDA_CAPACIDAD_D["dc4"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_D["dc4"]

DEMANDA_CAPACIDAD_D["dc5"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_D["dc5"]

DEMANDA_CAPACIDAD_D["dc6"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_D["dc6"]

DEMANDA_CAPACIDAD_D["dc7"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_D["dc7"]

```
DEMANDA_CAPACIDAD_D["dc8"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_D["dc8"]
```

```
DEMANDA_CAPACIDAD_D["dc9"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_D["dc9"]
```

```
RESULTADOS_E=pd.DataFrame()
```

```
RESULTADOS_E["qu"]=FINAL_C_E["qu"]
```

```
RESULTADOS_E["Altura"]=FINAL_C_E["Altura"]
```

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

```
RESULTADOS_E["B/H"]=FINAL_C_E["Base"]/FINAL_C_E["Altura"]
```

```
RESULTADOS_E["x/B"]=round(FINAL_C_E["x"]/FINAL_C_E["Base"],2)
```

```
RESULTADOS_E["tw/H"]=FINAL_C_E["tw"]/FINAL_C_E["Altura"]
```

```
RESULTADOS_E["h1/H"]=FINAL_C_E["h1"]/FINAL_C_E["Altura"]
```

```
PORCENTAJE_E=pd.DataFrame()
```

```
PORCENTAJE_E["qu"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_E["qu"]
```

```
PORCENTAJE_E["Altura"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_E["Altura"]
```

```
PORCENTAJE_E["Base"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_E["Base"]
```

```
PORCENTAJE_E["x"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_E["x"]
```

```
PORCENTAJE_E["tw"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_E["tw"]
```

PORCENTAJE_E["h1"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_E["h1"]

PORCENTAJE_E["Porcentaje_hormigon"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_E["Porcentaje_hormigon"]

PORCENTAJE_E["Porcentaje_relleno"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_E["Porcentaje_relleno"]

PORCENTAJE_E["Porcentaje_acero"]=FINAL_PORCENTAJE_COSTO_CUMPLE_E["Porcentaje_acero"]

DEMANDA_CAPACIDAD_E=pd.DataFrame()

DEMANDA_CAPACIDAD_E["Altura"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_E["Altura"]

DEMANDA_CAPACIDAD_E["Base"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_E["Base"]

DEMANDA_CAPACIDAD_E["x"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_E["x"]

DEMANDA_CAPACIDAD_E["tw"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_E["tw"]

DEMANDA_CAPACIDAD_E["h1"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_E["h1"]

DEMANDA_CAPACIDAD_E["dc1"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_E["dc1"]

DEMANDA_CAPACIDAD_E["dc2"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_E["dc2"]

DEMANDA_CAPACIDAD_E["dc3"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_E["dc3"]

DEMANDA_CAPACIDAD_E["dc4"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_E["dc4"]

DEMANDA_CAPACIDAD_E["dc5"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_E["dc5"]

DEMANDA_CAPACIDAD_E["dc6"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_E["dc6"]

DEMANDA_CAPACIDAD_E["dc7"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_E["dc7"]

DEMANDA_CAPACIDAD_E["dc8"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_E["dc8"]

DEMANDA_CAPACIDAD_E["dc9"]=FINAL_DEMANDA_CAPACIDAD_CUMPLE_E["dc9"]

print(RESPUESTAS_A)

print(DEMANDA_CAPACIDAD_A)

print(PORCENTAJE_A)

print(RESPUESTAS_B)

print(DEMANDA_CAPACIDAD_B)

```
print(PORCENTAJE_B)
```

```
print(RESULTADOS_C)
```

```
print(DEMANDA_CAPACIDAD_C)
```

```
print(PORCENTAJE_C)
```

```
print(RESULTADOS_D)
```

```
print(DEMANDA_CAPACIDAD_D)
```

```
print(PORCENTAJE_D)
```

```
print(RESULTADOS_E)
```

```
print(DEMANDA_CAPACIDAD_E)
```

```
print(PORCENTAJE_E)
```

```
#Combinacion de todos los DataFrames en uno solo para cada tipo de datos
```

```
frames_resultados = [RESULTADOS_A, RESULTADOS_B, RESULTADOS_C,  
RESULTADOS_D, RESULTADOS_E]
```

```
frames_demanda_capacidad = [DEMANDA_CAPACIDAD_A,  
DEMANDA_CAPACIDAD_B, DEMANDA_CAPACIDAD_C,  
DEMANDA_CAPACIDAD_D, DEMANDA_CAPACIDAD_E]
```

```
frames_porcentaje = [PORCENTAJE_A, PORCENTAJE_B, PORCENTAJE_C,  
PORCENTAJE_D, PORCENTAJE_E]
```

```
#Concatenacion de los DataFrames por tipo de datos
```

```
resultado_final = pd.concat(frames_resultados)
```

```
demanda_capacidad_final = pd.concat(frames_demanda_capacidad)
```

```
porcentaje_final = pd.concat(frames_porcentaje)
```

```
#Exportacion a excel
```

```
with pd.ExcelWriter('RESULTADOS_TESIS_PLAZA_VILLEGAS.xlsx') as writer:
```

```
    resultado_final.to_excel(writer, sheet_name='Resultados Totales', index=False)
```

```
    demanda_capacidad_final.to_excel(writer, sheet_name='Demanda Capacidad', index=False)
```

```
    porcentaje_final.to_excel(writer, sheet_name='Porcentaje', index=False)
```



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Plaza Garcés Exer Elian** con C.C: # **0850146143** y **Villegas Martínez Luis Fernando** con C.C: # **1207075225** autores del trabajo de titulación: **Evaluación de la eficiencia de muros de contención con cimentación superficial en función de la capacidad del suelo**, previo a la obtención del título de **Ingeniero civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaramos 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.- Autorizamos 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, 2 de febrero del 2024

f. 

Plaza Garcés Exer Elian

C.C: 0850146143

f. 

Villegas Martínez Luis Fernando

C.C: 1207075225

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 con Cimentación Superficial en Función de la Capacidad del Suelo.		
AUTORES	Plaza Garcés Exer Elian Villegas Martínez Luis Fernando		
REVISOR/TUTOR	Ing. Jaime Hernández Barredo, M. Sc		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	2 de febrero del 2024	No. DE PÁGINAS:	191
ÁREAS TEMÁTICAS:	Estructuras, Geotecnia, Presupuesto		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Muros, Relaciones Geométricas, Eficiente, Costo, Suelos, Capacidad de Carga, Capacidad Portante, Estados Límites		

RESUMEN:

En el presente trabajo de titulación se realiza un análisis paramétrico para determinar las relaciones geométricas eficientes de muros en contención en voladizo con cimentación superficial con alturas de 4 a 12 metros para distintos tipos de suelos variando su capacidad portante. El diseño y revisiones de estabilidad de los muros de contención se realizaron empleando la normativa AASHTO LRFD 2017. Además, se desarrolló un código en Python el cual tiene la función de realizar las iteraciones variando las propiedades geométricas (dimensiones) del muro y determinar la solución más eficiente para una altura de muro determinada en función de las propiedades de suelo (tipo y capacidad de carga) establecidas. Los costos aproximados de los muros están en función de precios asumidos (Hormigón, Acero y Relleno). Este enfoque contribuye a alcanzar una solución óptima de manera rápida para muros en voladizos cimentados en cualquier tipo de suelo (A, B, C, D o E), favoreciendo un diseño más eficiente en el ámbito de la ingeniería civil, sin comprometer la integridad estructural.

ABSTRACT:

In this degree work, a parametric analysis is performed to determine the efficient geometric relationships of cantilever retaining walls with shallow foundations with heights from 4 to 12 meters for different types of soils varying their bearing capacity.

The design and stability reviews of the retaining walls were performed using the AASHTO LRFD 2017 standard. In addition, a Python code was developed which has the function of performing iterations by varying the geometric properties (dimensions) of the wall and determining the most efficient solution for a given wall height based on the soil properties (type and bearing capacity) established. The approximate costs of the walls are a function of assumed prices (Concrete, Steel and Backfill).

This approach contributes to reach an optimal solution quickly for cantilever walls founded on any type of soil (A, B, C, D or E), favoring a more efficient design in the field of civil engineering, without compromising the structural integrity.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 98 947 5013 +593 98 019 8098	E-mail: exerelian@hotmail.com luferrabril641@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):	