



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**Comparación Técnica-Económica de Diferentes Muros de Contención a
Gravedad, Flexión y Fricción en las Terrazas Coluviales de la Ciudad de
Cuenca.**

Título a obtener:

Ingeniero Civil.

Autoras:

Emily Micaela Ayala Mejía.

Giovanna Mireya Pérez Aray.

Director de tesis:

Ing. José Fernando Vázquez Calero.

Cuenca - Ecuador

2024

CONTENIDOS

DEDICATORIA

A mi madre Silvania y abuela Olga que me han brindado su amor, orientación y apoyo incondicional a lo largo de toda mi carrera universitaria, me han guiado e inspirado con su ejemplo en todo momento.

A mis tíos Diego y María Eugenia por los conocimientos impartidos, enseñanza, apoyo y oportunidad de relacionarme dentro del campo de la ingeniería civil.

-Micaela Ayala Mejía.

A mis padres Geovanny y Jenny, por su amor incondicional y por creer siempre en mí, por su apoyo emocional y financiero sin el cual no habría sido posible llegar hasta aquí.

A mi familia, por estar siempre a mi lado y por sus palabras de aliento cuando más lo necesitaba.

A mi mejor amigo y pareja, Francisco, por escucharme con paciencia y apoyarme de manera incondicional en todo momento.

-Giovanna Pérez Aray.

AGRADECIMIENTO

Me encuentro profundamente agradecida con Dios por haberme dado la fortaleza, perseverancia y sabiduría para poder finalizar mi carrera universitaria. Expreso mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis, el Ingeniero José Vázquez por su inestimable orientación, apoyo, paciencia y generosidad al impartir todo su conocimiento dentro de este tema. También deseo expresar mi gratitud a Diego, mi tío, cuya orientación, enseñanzas y valiosos consejos han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo de titulación. Por último, pero no menos importante, quiero expresar mis agradecimientos a toda mis padres, familia y amigos por la compañía, apoyo constante y respaldo durante este transcurso de este gran logro universitario.

-Micaela Ayala Mejía.

En primer lugar, agradezco a Dios por darme cada día la oportunidad de superarme y alcanzar mis metas, por la fortaleza y sabiduría para haber culminado con éxito mi carrera universitaria. Mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis, el Ingeniero José Vázquez Calero, por su guía, paciencia y constante colaboración; su experiencia y conocimiento han sido primordiales para la realización de este trabajo. A mi compañera de tesis y amiga, Micaela, por compartir conocimientos, ideas y momentos de estudio conjunto, su amistad ha sido un pilar fundamental a lo largo de este camino. Y finalmente, agradezco a todas las personas que han contribuido de una u otra forma al desarrollo de esta tesis.

-Giovanna Pérez Aray.

RESUMEN

La presente investigación compara los diferentes tipos de estructuras de contención para los depósitos coluviales que conforman el tipo de suelo de la ciudad de Cuenca, siendo estos, arcilla de baja plasticidad, grava bien graduada y arena arcillosa. El diseño se realizó en función de alturas específicas dependiendo de la tecnología constructiva de cada muro, entre los cuales se encuentran muros de gravedad de 2, 4 y 6 metros, muros ménsula de 4, 6, 8 y 9.5 metros, muros pantalla apuntalada y pantalla anclada de 6, 8 y 10 metros, con el uso de programas especializados y comprobados con hojas electrónicas. Como resultado del análisis comparativo técnico-económico, a partir de la ingeniería de valor, se determinó que la alternativa con mejores desempeños para una altura común de 6 metros fue el muro tipo ménsula.

Palabras clave: muros ménsula, estructuras de contención, ingeniería de valor, depósitos coluviales, análisis técnico-económico.

ABSTRACT

The present research compares different types of retaining structures for colluvial deposits that constitute the soil type of the city of Cuenca, specifically low plasticity clay, well-graded gravel, and clayey sand. The design was based on specific heights depending on the construction technology of each wall, which include gravity walls of 2, 4, and 6 meters, cantilever walls of 4, 6, 8, and 9.5 meters, braced diaphragm walls, and anchored diaphragm walls of 6, 8, and 10 meters. Specialized software and verified spreadsheets were used for the design. As a result of the technical-economic comparative analysis, based on value engineering, it was determined that the best performing alternative for a common height of 6 meters was the cantilever wall.

Keywords: cantilever walls, retaining structures, value engineering, colluvial deposits, technical-economic analysis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDOS.....	ii
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
Generalidades.....	1
Alcance.....	1
Antecedentes.....	1
Problemática y Justificación.....	2
Objetivos.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
1 Caracterización de suelos, estructuras y normativa.....	4
1.1 Caracterización de los tipos de suelos.....	4
1.1.1 Geomorfología del cantón Cuenca.....	5
1.1.2 Principales formaciones geológicas que afloran en la ciudad de Cuenca.....	6
1.1.3 Depósitos coluviales en la ciudad de Cuenca.....	9
1.2 Empujes de los suelos.....	13

1.2.1	Empuje activo.....	13
1.2.2	Empuje Pasivo.....	14
1.2.3	Empuje al reposo:.....	14
1.2.4	Teorías para el cálculo de empujes	15
1.3	Teorías de empuje de tierras.....	16
1.3.1	Teoría de Rankine	16
1.3.2	Suposiciones Rankine:	16
1.3.3	Deficiencias de la teoría:	16
1.3.4	Empuje activo según Rankine (suelos granulares).....	17
1.3.5	Empuje pasivo según Rankine	18
1.3.6	Esfuerzos horizontales en suelos granulares	18
1.3.7	Teoría de presión de tierra de Coulomb	19
1.3.8	Deficiencias de la teoría de Coulomb:	19
1.3.9	Empuje activo según Coulomb	19
1.3.10	Empuje pasivo según Coulomb.....	21
1.4	Empujes en medios coherentes	22
1.5	Incremento dinámico del empuje activo como resultado del efecto sísmico	23
1.6	Inestabilidad de los suelos.....	25
1.7	Módulo de reacción o coeficiente de balasto (Ks)	26
1.8	Tipología de estructuras de contención.....	29

1.8.1	Muros a gravedad	29
1.8.2	Muros a flexión o tipo Ménsula	30
1.8.3	Muros pantalla apuntalada	32
1.8.4	Muros de pantalla anclada.....	33
1.9	Normativa de construcción NEC 2015.....	34
1.9.1	Factores de estabilidad	34
1.9.2	Método de los esfuerzos admisibles o estado límite de servicio.....	35
1.9.3	Estabilidad al volcamiento	35
1.9.4	Estabilidad al deslizamiento.....	36
1.9.5	Presiones de contacto	37
2	Análisis y diseño de estructuras de contención	41
2.1	Muro a gravedad hormigón ciclópeo	41
2.1.1	Prediseño	41
2.1.2	Diseño.....	42
2.2	Muros Ménsula.....	53
2.2.1	Materiales	53
2.2.2	Factores de seguridad	54
2.2.3	Alturas	55
2.2.4	Tipos de suelo.....	56
2.2.5	Sobrecarga de tráfico.....	57

2.2.6	Diseño de muros tipo ménsula de 4 metros.....	59
2.2.7	Diseño de muros tipo ménsula de 6 metros.....	60
2.2.8	Diseño de muros tipo ménsula de 8 metros.....	62
2.2.9	Diseño de muros tipo ménsula de 10 metros.....	63
2.3	Diseño de muros de pantalla apuntalada.....	65
2.3.1	Determinación de las alturas útiles y tipos de suelos.....	65
2.3.2	Determinación de la normativa.....	65
2.3.3	Definición de la tipología.....	65
2.3.4	Determinación de materiales.....	66
2.3.5	Sobrecarga de trafico.....	67
2.3.6	Factor de seguridad.....	67
2.3.7	Tipos de suelos.....	67
2.3.8	Datos generales.....	68
1.1.1	Muro de pantalla apuntalada de 6m de altura útil.....	68
2.3.9	Muro de pantalla apuntalada de 8 m de altura útil.....	73
2.3.10	Muro de pantalla apuntalada de 10m de altura útil.....	78
2.4	Diseño de muros de pantalla anclada.....	83
2.4.1	Muro de pantalla anclada de 6m de altura útil.....	83
2.4.2	Muro de pantalla anclada 8m de altura útil.....	86
2.4.3	Muros de pantalla de 10m de altura útil.....	89

3	Comparación técnica-económica e ingeniería de valor	93
3.1	Análisis técnico	93
3.1.1	Factor de seguridad al volcamiento.....	93
3.1.2	Factor de seguridad al deslizamiento	94
3.1.3	Esfuerzos cortantes.....	95
3.1.4	Esfuerzos flectores	97
3.1.5	Desplazamiento	99
3.2	Análisis de consumo de materiales	101
3.2.1	Encofrado	101
3.2.2	Acero	102
3.2.3	Hormigón ciclópeo	103
3.2.4	Hormigón simple.....	104
3.2.5	Consumo de materiales	107
3.3	Análisis económico	110
3.3.1	Presupuesto total	110
3.3.2	Comparación económica.....	111
3.4	Ingeniería de valor.....	115
	Conclusiones.....	118
	Recomendaciones	120
	Bibliografía.....	121

Anexos 124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Mapa de órdenes de suelos del Ecuador	4
Figura 1-2 Mapa geológico de la ciudad de Cuenca.....	12
Figura 1-3 Empuje Activo	13
Figura 1-4 Empuje Pasivo.....	14
Figura 1-5 Empuje de reposo.....	15
Figura 1-6 Círculo de Mohr, presión activa.....	17
Figura 1-7 Parámetros del empuje activo	20
Figura 1-8 Parámetros del empuje pasivo.....	21
Figura 1-9 Empuje activo empuje de Rankine.....	22
Figura 1-10 Forma y aplicación del empuje activo y pasivo	23
Figura 1-11 Mapa de zonas sísmicas del Ecuador	24
Figura 1-12 Coeficiente de Balasto.....	27
Figura 1-13 Muros a gravedad sin cimentación (a) y con cimentación (b)	30
Figura 1-14 Elementos de un muro.....	31
Figura 1-15 Muro de pantalla	32
Figura 1-16 Estabilidad de taludes utilizando pantalla anclada.....	33
Figura 1-17 Factores de estabilidad	34
Figura 1-18 Presiones de contacto	40
Figura 2-1 Pre dimensionamiento de muros a gravedad.....	41
Figura 2-2 Pantalla de ingreso de datos del software	43
Figura 2-3 Simbología de las dimensiones del muro.....	43
Figura 2-4 Diseño muro 2m, tipo de suelo CL	44

Figura 2-5	Diseño muro 2m, tipo de suelo GW.....	45
Figura 2-6	Diseño muro de 2m, tipo de suelo SC.....	46
Figura 2-7	Diseño muro 4m, tipo de suelo CL	47
Figura 2-8	Diseño de muro 4m, tipo de suelo GW	48
Figura 2-9	Diseño de muro 4m, tipo de suelo SC.....	49
Figura 2-10	Diseño de muro 6m, tipo de suelo CL.....	50
Figura 2-11	Diseño de muro 6m, tipo de suelo GW	51
Figura 2-12	Diseño de muro 6m, tipo de suelo SC.....	52
Figura 2-13	Definición de empujes en el muro	53
Figura 2-14	Definir materiales del muro	54
Figura 2-15	Coefficientes de seguridad	55
Figura 2-16	Estrato CL	56
Figura 2-17	Estrato GW.....	56
Figura 2-18	Estrato SC.....	57
Figura 2-19	Camión de diseño.....	58
Figura 2-20	Sobrecarga de tráfico.....	58
Figura 2-21	Armadura muro 4m	59
Figura 2-22	Diseño geométrico muro 4m.....	59
Figura 2-23	Diseño geométrico muro 4m.....	59
Figura 2-24	Armadura muro 4m.....	59
Figura 2-25	Diseño geométrico muro 4m.....	60
Figura 2-26	Armadura muro 4 m.....	60
Figura 2-27	Diseño geométrico muro 6 m.....	60

Figura 2-28 Armadura muro 6 m.....	60
Figura 2-29 Diseño geométrico muro 6 m.....	61
Figura 2-30 Armadura muro 6 m.....	61
Figura 2-31 Diseño geométrico muro 6 m.....	61
Figura 2-32 Armadura muro 6m.....	61
Figura 2-33 Armadura muro 8 m.....	62
Figura 2-34 Diseño geométrico muro 8 m.....	62
Figura 2-35 Armadura muro 8 m.....	62
Figura 2-36 Diseño geométrico muro 8 m.....	62
Figura 2-37 Diseño geométrico muro 8 m.....	63
Figura 2-38 Armadura muro 8 m.....	63
Figura 2-39 Armadura muro 10 m.....	63
Figura 2-40 Diseño geométrico muro 10 m.....	63
Figura 2-41 Diseño geométrico muro 10 m.....	64
Figura 2-42 Armadura muro 10 m.....	64
Figura 2-43 Diseño geométrico muro 10 m.....	64
Figura 2-44 Armadura muro 10 m.....	64
Figura 2-45 Normativa ACI 318 2019.....	65
Figura 2-46 Tipología de muros	66
Figura 2-47 Materiales.....	66
Figura 2-48 Carga de tráfico.....	67
Figura 2-49 Factor de seguridad sin sismo	67
Figura 2-50 Coeficientes del módulo de balasto CL	68

Figura 2-51 Geometría muro 6m CL	69
Figura 2-52 Armadura muro 6m CL.....	69
Figura 2-53 Coeficientes del módulo de balasto GW	70
Figura 2-54 Geometría muro 6 m GW.....	70
Figura 2-55 Armadura muro 6 m GW	71
Figura 2-56 Coeficiente de balasto SC	71
Figura 2-57 Geometría muro 6m SC	72
Figura 2-58 Armadura muro 6 m SC	72
Figura 2-59 Coeficiente de balasto CL.....	73
Figura 2-60 Geometría muro 8 m CL	73
Figura 2-61 Armadura muro 8 m CL.....	74
Figura 2-62 Coeficiente del módulo de balasto GW	74
Figura 2-63 Geometría muro 8 m GW.....	75
Figura 2-64 Armadura muro 8 m GW	75
Figura 2-65 Coeficiente del módulo el balasto GW	76
Figura 2-66 Geometría muro 10 m SC	76
Figura 2-67 Armadura muro 10 m SC	77
Figura 2-68 Coeficiente de balasto CL.....	78
Figura 2-69 Geometría muro 10 m CL	78
Figura 2-70 Armadura muro 10m.....	79
Figura 2-71 Coeficiente del módulo de balasto GW	79
Figura 2-72 Geometría muro 10 m GW.....	80
Figura 2-73 Armadura muro 10 m GW	80

Figura 2-74 Coeficiente de módulo de balasto SC	81
Figura 2-75 Geometría muro 10 m SC	81
Figura 2-76 Armadura muro 10 m SC	82
Figura 2-77 Geometría muro 6 m CL	83
Figura 2-78 Armadura muro 6m CL.....	84
Figura 2-79 Geometría muro 6 GW	84
Figura 2-80 Armadura muro 6 m GW	85
Figura 2-81 Geometría muro 6 m SC	85
Figura 2-82 Armadura muro 6 m SC	86
Figura 2-83 Geometría muro 8 m CL	86
Figura 2-84 Armadura muro 8 m CL.....	87
Figura 2-85 Geometría muro 6 m GW.....	87
Figura 2-86 Armadura muro 8 m GW	88
Figura 2-87 Geometría muro 8 m SC	88
Figura 2-88 Armadura muro 8 cm SC	89
Figura 2-89 Geometría muro 10 m CL	89
Figura 2-90 Armadura muro 8 m CL.....	90
Figura 2-91 Geometría muro 10 m GW.....	90
Figura 2-92 Armadura muro 10 m GW	91
Figura 2-93 Geometría muro 10 m SC	91
Figura 2-94 Armadura muro 10 m SC	92
Figura 3-1 Factor de seguridad al volcamiento muros 6 m	94
Figura 3-2 Factor de seguridad al deslizamiento muros 6 m.....	95

Figura 3-3 Esfuerzo cortante muros 8m.....	96
Figura 3-4 Esfuerzo cortante muros de 10 m.....	97
Figura 3-5 Momento flector de muros 6 m.....	98
Figura 3-6 Momento flector muros 8 m.....	98
Figura 3-7 Momento flector muros 10 m.....	99
Figura 3-8 Desplazamientos muros 6 m	100
Figura 3-9 Desplazamiento muros 8 m.....	100
Figura 3-10 Desplazamientos muros 10 m	101
Figura 3-11 Encofrado muros 6 m.....	102
Figura 3-12 Consumo de acero muros 6 m.....	102
Figura 3-13 Consumo de acero muros 10 m.....	103
Figura 3-14 Consumo hormigón muros gravedad	104
Figura 3-15 Consumo Hormigón muros ménsula.....	105
Figura 3-16 Consumo hormigón muro 6 m	106
Figura 3-17 Consumo hormigón 10 m.....	106
Figura 3-18 Consumos materiales muro de gravedad altura 2,4,6 m	107
Figura 3-19 Consumo materiales muro ménsula 4,6,8,9.5 m	108
Figura 3-20 Consumo materiales pantalla muros 6,8,10 m	108
Figura 3-21 Consumo materiales muros anclados 6,8,10 m.....	109
Figura 3-22 Presupuesto muros 6 m	112
Figura 3-23 Porcentaje de precios muros gravedad GW y SC	113
Figura 3-24 Porcentaje de precios muros de gravedad CL	113
Figura 3-25 Porcentaje de precios muros ménsula	113

Figura 3-26 Porcentajes de precios muro pantalla apuntalada.....	114
Figura 3-27 Porcentajes de precios muro de pantalla anclada.....	115
Figura 3-28 Ingeniería de valor.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Parámetros Físico-Mecánicos de los suelos coluviales de la ciudad de Cuenca en condiciones drenadas	11
Tabla 1-2 Coeficiente de Balasto	28
Tabla 2-1 Pre diseño de base en dependencia de la altura	42
Tabla 2-2 Datos muro de 2m, tipo de suelo CL	44
Tabla 2-3 Datos del muro de 2m, tipo de suelo GW	45
Tabla 2-4 Datos de muro 2m, tipo de suelo SC	46
Tabla 2-5 Datos muro 4m, tipo de suelo CL	47
Tabla 2-6 Datos de muro 4m, tipo de suelo GW	48
Tabla 2-7 Datos de muro 4m, tipo de suelo SC	49
Tabla 2-8 Datos de muro 6m, tipo de suelo CL	50
Tabla 2-9 Datos de muro 6m, tipo de suelo GW	51
Tabla 2-10 Datos de muro 6m, tipo de suelo SC	52
Tabla 2-11 Altura de la pantalla del muro	55
Tabla 3-1 Presupuesto total de los muros	110
Tabla 3-2 Presupuesto según le tipo de suelo, muro y altura	111
Tabla 3-3 Coeficientes para la ingeniería de valor	116

ÍNDICE ANEXOS

Anexo 1 Comprobación de muro a gravedad 6 m	124
Anexo 2 Comprobación de muro a ménsula 6 m.....	124
Anexo 3 Factor de seguridad al volcamiento muro gravedad altura 2 m	125
Anexo 4 Factor de seguridad al volcamiento muros 4 m.....	125
Anexo 5 Factor de seguridad al volcamiento muro 8 m	126
Anexo 6 Factor de seguridad al volcamiento muros 10m.....	126
Anexo 7 Factor de seguridad al deslizamiento muro gravedad 2 m.....	127
Anexo 8 Factor de seguridad al deslizamiento muros 4 m	127
Anexo 9 Factor de seguridad al deslizamiento muros 8 m	128
Anexo 10 Esfuerzo cortante muros 6 m.....	128
Anexo 11 Consumo de materiales encofrado muros 4 m.	129
Anexo 12 Consumo de materiales encofrado muros 8 m.	129
Anexo 13 Consumo de materiales encofrado muros 10 m.	130
Anexo 14 Consumo de acero muro ménsula 4 m.	130
Anexo 15 Consumo de acero muros 8 m.	131
Anexo 16 Consumo de hormigón simple f 'c de 400 kg/cm ² muros de 8 m.	131
Anexo 17 Excavación mecánica muros gravedad 2 m.	132
Anexo 18 Excavación mecánica muros 4 m.	132
Anexo 19 Excavación mecánica muros 6 m.	133
Anexo 20 Excavación mecánica muros 8 m.	133
Anexo 21 Excavación mecánica muros 10 m.	134

Anexo 22 Análisis de consumo de materiales para cada tipo de muro, con su respectiva altura y tipo de suelo	134
Anexo 23 Presupuesto muro 2 m gravedad	135
Anexo 24 Presupuesto muros 4 m	135
Anexo 25 Presupuesto muros 8 m	136
Anexo 26 Presupuesto muros 10 m	136
Anexo 27 Tabla de análisis de precios según el tipo de suelo y altura muros de gravedad	137
Anexo 28 Tabla de análisis de precios según el tipo de suelo y altura muros ménsula..	137
Anexo 29 Tablas de análisis de precios muros pantalla apuntalada	137
Anexo 30 Tablas de análisis de precios muros pantalla anclada	137

Generalidades

Alcance

La investigación a realizar no cuenta con un estado actual, debido a que no es un proyecto oficial, por lo que el objetivo de esta investigación es encontrar la solución más óptima considerando determinados factores. La construcción de un muro de contención se realiza para satisfacer diversas necesidades y resolver problemas específicos en terrenos con pendientes o taludes que necesitan ser estabilizados. A pesar de la existencia de diversos trabajos investigativos acerca del tema, no se ha hecho una comparación que determine qué tipo de obra es la más óptima tanto económica como técnicamente en base a la altura de talud y el tipo de suelo donde se requiere la obra.

Antecedentes

Las estructuras de contención son un tipo de obras diseñadas para proporcionar estabilidad lateral a una masa de suelo, dependiendo principalmente de su propia masa y de la presión del suelo ejercida directamente sobre su base para lograr estabilidad. La función principal radica en actuar como elementos de contención para terrenos, ya sea natural o artificial, y son esenciales en proyectos de construcción, especialmente cuando se requiere mantener la estabilidad del suelo en posiciones próximas a la vertical, como en edificaciones con sótanos o en la contención de rellenos y terraplenes.

Son caracterizados por ser estructuras continuas, permanentes y relativamente rígidas, ejercen un efecto estabilizador, ya sea de manera activa o pasiva, sobre la masa de terreno. Se integran como componentes fundamentales en diversas cimentaciones, siendo el diseño de los muros de contención una responsabilidad clave de ingenieros especializados en cimentaciones.

La construcción de muros de contención tiene sus orígenes en prácticas antiguas, evolucionando desde el predominio de la mampostería de piedra antes de 1900 hacia el uso preeminente del concreto, con o sin refuerzo, en tiempos más recientes. El objetivo principal en la construcción de estos muros consiste en asegurar una adecuada seguridad estructural para resistir todas las fuerzas y presiones que actúan sobre ellos.

Problemática y Justificación

Existen diversos métodos y procesos en los cuales, los ingenieros pueden diseñar y calcular una obra de contención, sin embargo, es muy complejo determinar cuál de ellos es el más óptimo, puesto que participan distintos parámetros para precisar el diseño final, entre los cuales se deben tomar en cuenta son las tecnificaciones y el factor económico. Por lo mencionado anteriormente, es de gran importancia identificar en qué parámetros específicos debemos basarnos para escoger adecuadamente una u otra obra de contención, de tal manera que respondan a las necesidades y requerimientos de la sociedad, una vez comprendido esto, podemos determinar el mejor tipo de estructura correspondiente de manera técnica y económica, sea esta un muro a gravedad, a flexión y a fricción.

Dentro del desarrollo urbano, debido a las distintas condiciones geométricas de los predios que componen un entorno y la accidentada topografía de la ciudad de Cuenca, es muy común requerir de obras de contención que además de proporcionar mejores características al terreno, haciéndolo edificable, delimiten los espacios privados de los públicos y viceversa, precautelando siempre la seguridad de los usuarios. La funcionalidad e impacto de una obra depende netamente de la necesidad de un correcto análisis, diseño y construcción, asegurando así, que las estructuras puedan ser ideales dentro del medio urbano de la ciudad de Cuenca, cerciorándose a la vez de que

el proyecto no genere repercusiones en otras obras existentes y mucho menos en los espacios arquitectónicos definidos para el lugar donde el proyecto se llevaría a cabo.

Objetivos

Objetivo general

Realizar la comparación técnica-económica entre diferentes tipos de estructuras de contención en diferentes condiciones de suelo y altura de talud para la ciudad de Cuenca.

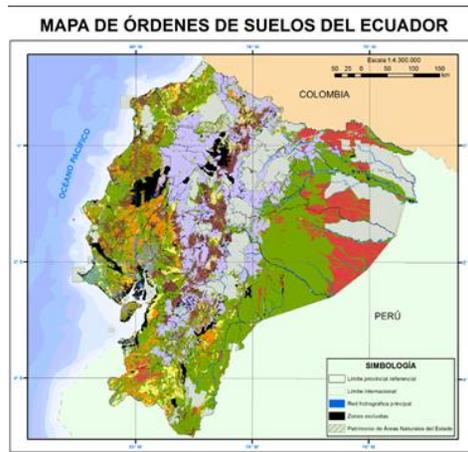
Objetivos específicos

- Recopilar información referente a los diferentes factores físico-mecánicos de los suelos en la ciudad de Cuenca.
- Plantear modelos de estructuras de contención, analizarlas y diseñarlas para las diferentes alturas con parámetros conocidos de la zona.
- Determinar mediante ingeniería de valor un análisis técnico económico de los diferentes muros de contención, de tal manera que se obtenga el diseño más óptimo.

1 Caracterización de suelos, estructuras y normativa

1.1 Caracterización de los tipos de suelos

Figura 1-1 Mapa de órdenes de suelos del Ecuador



Fuente: Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica, 2015.

Según la Figura 1-1 Mapa de órdenes de suelos del Ecuador se puede visualizar que posee una serie de datos cartográficos acerca de los suelos, origen y tipología de cada provincia que componen el Ecuador, en especial la ciudad de Cuenca. Esta zona se encuentra formado principalmente por suelos de origen volcánico, debido a que se encuentra ubicado en el cinturón de fuego del Pacífico, así mismo están constituidos por depósitos fluviales, coluviales y residuos geológicos, una de las características principales es que suelen ser superficiales o ubicarse a grandes profundidades con pendiente variable según el tipo de suelo. (Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica, 2015)

Cabe recalcar que dentro de estos depósitos del suelo se encuentran los suelos minerales y alfisoles, no en gran cantidad, pero sí componen una parte de la ciudad, estos suelos son superficies terrestres que han ido evolucionando en diferentes niveles, con una alta humedad causan deslizamientos e inestabilidad en los suelos. (Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica, 2015)

En la ciudad de Cuenca se encuentran diversos tipos de suelos según su origen, pendientes y terrazas. El norte del valle contiene depósitos de la época Pliocénica-Pleistocénica de origen volcánico y mineral los cuales han sido sometidos a varios procesos geológicos, erosivos y desplazamientos de masas de tierra dando lugar a formaciones sedimentarias terciarias. En el oeste de Sinincay existen varios depósitos de pie de monte con escarpes en las terrazas y pendientes.

Por otro lado, en el este de la ciudad una gran cantidad de suelos surgieron por varios procesos de depósitos fluviales. A partir de las formaciones geológicas en las diferentes terrazas se puede determinar la susceptibilidad de terrenos inestables, las formaciones más nuevas tienden a ser más probables a la rotura e inestabilidad de los suelos. (Cooperación Ecuador Suiza (CSS), 1998)

1.1.1 Geomorfología del cantón Cuenca.

El cantón Cuenca está ubicado en los Andes en la región centro-sur de Ecuador, por lo que su topografía es mayoritariamente montañosa y accidentada, sin embargo, se encuentra situado en un valle interandino a una altitud aproximada de 2500 m.s.n.m.

Debido a los movimientos de las placas tectónicas marinas ocurridos durante el Mesozoico, la superficie de la ciudad ha adquirido su característico relieve. Para la zonificación geomorfológica del cantón se han definido cuatro zonas principales, aquellas compuestas por sedimentos terciarios como arenas, piedras calizas y arcillas contenidas por los ríos se conocen como relieves interandinos, en la parte central se encuentran cimas frías correspondientes a formaciones glaciares sobre rocas y material volcánico, la penúltima zona de las vertientes externas está formada por restos volcánicos y cenizas con una pendiente mayor al 50%, finalmente la zona baja definida como piedemontes y rocas desprendidas de carácter costero. (Municipio de Cuenca, 2016)

Los estudios geológicos-geotécnicos desarrollados en el austro ecuatoriano se realizaron para localizar zonas vulnerables y de peligrosidad, además de caracterizar algunas formaciones geológicas frágiles e inestables y su comportamiento. Luego de haber ocurrido el desastre de la Josefina se llevó a cabo el proyecto PRECUPA, a través del cual fue posible obtener los datos antes mencionados para el área del cantón Cuenca.

La aparición de formaciones terciarias y aportes cuaternarios que han conformado zonas de inundación o piedemonte con depósitos glaciares, coluviales, distintas terrazas aluviales, arcillas de colores y los últimos materiales transportados por ríos, deben su afloramiento al recubrimiento de las constituciones sedimentarias de la cuenca del cantón con acopios volcánicos que han sido dispersados desde su formación hasta la actualidad. (Cooperación Ecuador Suiza (CSS), 1998)

1.1.2 Principales formaciones geológicas que afloran en la ciudad de Cuenca

Es posible zonificar el área urbana de la ciudad de Cuenca por formaciones geotécnicas, dependiendo del tipo de depósito sea este aluvial, coluvial u otros. Existen diferentes tipos de formaciones geológicas que son consideradas las más comunes de la ciudad de Cuenca siendo estos: depósitos coluviales, aluviales, terrazas aluviales, formación Santa Rosa, Mangan, Loyola, Biblián, Turi y Llacao.

Depósitos Aluviales (Da): depósitos de una variedad de materiales transportados y asentados por ríos a lo largo de su flujo, particularmente en las llanuras de inundación de valles amplios. Dichos depósitos datan del Holoceno hasta el presente y se conocen sedimentos fluviales recientes post-glaciares. La mezcla de agregados que los conforman varía, incluyendo bloques, gravas y arenas limosas en distintas cantidades. Dependiendo del movimiento y morfología del

curso fluvial, la forma de estos sedimentos también varía desde redondeados hasta subangulares. (Villavicencio & Matute, 2018)

Terrazas aluviales y flujos glaciares: están compuestas principalmente de bloques y boleos que pueden ser subangulares o redondeados y en algunos casos, semiesféricas. Estos elementos se encuentran en un arreglo formado por grava, arena y arcilla, con porcentajes variables entre 40-70% para bloqueos y boleos, y 60-30% para el arreglo.

Sin embargo, existes otros tipos de terraza de este tipo que se diferencia de las anteriores por su composición. Está constituida por capas irregulares de arena, limo y depósitos aluviales de espesor variable. (Villavicencio & Matute, 2018)

Formación Turi (PI T): la litología de esta formación presenta notables cambios en su composición a lo largo de su extensión. Se pueden apreciar diferentes tipos de rocas sedimentarias como conglomerados basales, generalmente de origen volcánico, arenas con distintos minerales, arcillas y brechas que se encuentran bien estratificadas, demostrando que su asentamiento se dio en un lugar con poca perturbación, como un lago o un mar. Además, en la carretera que conduce a Turi, se evidencian conglomerados con material volcánico y areniscas en las terrazas, sin embargo, dichas capas se encuentran sobre otras que fueron deformadas, lo que indica presencia de actividad tectónica en la zona. (Villavicencio & Matute, 2018)

Formación Mangán (MM): secuencia que presenta tres tipos principales de rocas sedimentarias, la parte inferior contiene limolitas de color claro que contienen limo, lutitas que son aún más finas y compactas, y areniscas. La parte media de igual manera tiene limolitas, pero con vetas de carbón. La parte superior revela arenisca tobácea gruesa de color café y espesa textura que se conglomeran paulatinamente hacia la superficie. (Villavicencio & Matute, 2018)

Formación Azogues (MPIY): se trata de un extenso afloramiento de la cuenca sedimentaria, en los flancos del anticlinal de Cuenca, el sinclinal de Azogues y de Cruz Loma. Se contemplan grandes cortes en las areniscas que están localizadas en la vía rápida Cuenca-Azogues antes de llegar a El Descanso. Por su carácter clástico, se compone de areniscas tobáceas color café amarillentas de grano medio a grueso, capas de lutitas, limolitas y rocas formadas por clastos de diversos tamaños. También se identifican fósiles de moluscos y restos de plantas. (Villavicencio & Matute, 2018)

Formación Loyola (MI): se encuentra presente en los extremos del anticlinal de Cuenca y en el lateral oriental del sinclinal de Gualaceo. Los afloramientos en el tramo medio de la vía rápida Cuenca - Azogues se deben a la apertura de la misma. Es una formación sedimentaria clástica de tipo fino-granular, compuesta por una alternación de distintos tipos de roca, por ejemplo, lutitas grises oscuro divididas en láminas delgadas, limolitas meteorizadas de colores claros, areniscas limosas habanas finamente estratificadas, calizas principalmente formadas por carbonato de calcio y mega brechas constituidas por fragmentos de gran tamaño de otras rocas.

En la base se pueden observar areniscas depositadas en discordancia con la formación Yunguilla, esto implica un cambio en la forma de asentamiento de los sedimentos. En esta formación el yeso se puede encontrar en abundancia, especialmente en superficies alteradas por factores meteorológicos. (Villavicencio & Matute, 2018)

Formación Biblián (MB): Secuencia compuesta por una variación de diferentes muestras clásticas entre las que se encuentran argilitas compactas de color rojizo, limolitas, areniscas tobáceas de origen volcánico y conglomeraciones con cantos de diversas granulometrías y formas subangulares provenientes de la formación Yunguilla, en algunas grietas se puede diferenciar yeso secundario. (Villavicencio & Matute, 2018)

1.1.3 Depósitos coluviales en la ciudad de Cuenca

Depósitos de ladera y de pie de talud formados con materiales que han sufrido poco transporte, son muy heterogéneos dependiendo de la zona y el fenómeno inestable que les dio origen: deslizamientos, derrumbes, flujos, etc. De manera general se componen de mezclas heterogéneas de bloques y fragmentos angulares y subangulares en matriz limo arcillosa con micro fragmentos. (Cooperación Ecuador Suiza (CSS), 1998)

Se trata de depósitos con permeabilidad cambiante, es decir, desde permeables (friccionante) hasta impermeables (cohesivo), remotos, formados por una granulometría diversa y compactos con poca inclinación. Dependiendo de la antigüedad se pueden catalogar sus posibilidades de construcción, en cuanto a depósitos antiguos los materiales se consideran aptos para la construcción, si se cuenta con estudios previos que determinen su estabilidad.

Sin embargo, los depósitos recientes son peligrosos por su inestabilidad, por ejemplo, depósitos del desagüe de la Josefina, localizados en Challuabamba y aquellos formados tras la última glaciación durante el Holoceno. (Cooperación Ecuador Suiza (CSS), 1998)

Condiciones geodinámicas: estos depósitos debido a su antigüedad, son compactos y moldeados, sin embargo, la existencia de escorrentía, puede favorecer la erosión. Esta erosión puede generar drenajes en forma de V, así como movimientos del terreno que resultan peligrosos. “Los depósitos recientes son zonas potencialmente inestables, sin sistema de drenaje conformado, susceptibles a la erosión hídrica, deslizamientos y flujos”. (Cooperación Ecuador Suiza (CSS), 1998, pág. 18)

Condiciones hidrogeológicas: La permeabilidad en depósitos antiguos depende de su grado de compactación, clasificándose en niveles los cuales pueden ir de media a baja y los profundos niveles freáticos que presenta. En cuanto a depósitos su capacidad para transmitir agua

es variable y su porosidad va de media a alta. Sin embargo, ambos tipos de depósitos pueden existir en zonas húmedas y mal drenadas. (Cooperación Ecuador Suiza (CSS), 1998)

Trabajabilidad: Al tratarse de materiales con poca cantidad de finos, su excavación puede realizarse con maquinaria liviana y en algunos casos se pueden utilizar explosivos para su extracción. No obstante, debido a su inestabilidad general se requieren de técnicas especiales que se pueden aplicar únicamente en zonas donde esté permitido. Es un material aceptable para subbase en la construcción de carreteras. (Cooperación Ecuador Suiza (CSS), 1998)

A partir de la Tabla 1-1 Parámetros Físico-Mecánicos de los suelos coluviales de la ciudad de Cuenca se describen los valores para los depósitos coluviales de los suelos, como peso específico, cohesión, ángulo de fricción interna, coeficiente de permeabilidad como se muestra a continuación,

en donde:

K es la permeabilidad

γ es el peso específico natural

C' cohesión en condiciones drenadas

ϕ' (°) ángulo de fricción en condiciones drenadas

Tabla 1-1 Parámetros Físico-Mecánicos de los suelos coluviales de la ciudad de Cuenca en condiciones drenadas

Clasificación de los suelos según la SUCS	Indicadores físico - mecánico			
	K (m/s)	γ (KN/m ³)	C' (MN/m ²)	ϕ' (°)
CL-SC	$10^{-6} - 10^{-8}$	17 - 21	0 - 0.01	15 - 28
SC-GW	$10^{-3} - 10^{-4}$	19 - 22	0 - 0.005	25 - 35

Fuente: PRECUPA, 1998

Los depósitos más compactos y estables con una probabilidad media de que el terreno presente un movimiento de masas y con pendientes de 15 a 25° son los antiguos. Por otro lado, los depósitos más recientes son más propensos a desprendimientos de grandes masas generando derrumbes. (Cooperación Ecuador Suiza (CSS), 1998)

La reactivación de taludes que son potencialmente inestables depende de diversos factores, entre los internos se encuentran la saturación del terreno que facilita su debilitación y lo hace más propenso a desprendimientos y la fracturación cuyas grietas aportan al movimiento de la tierra. En cuanto a los factores naturales se pueden mencionar precipitaciones extremas que saturan el terreno provocando deslizamientos y sismos. Los factores antrópicos que intervienen están la tala de árboles, cuyas raíces ayudan a estabilizar el terreno, cortes, rellenos, construcciones y explotaciones inadecuadas. Previo a realizar un corte en coluviales jóvenes es fundamental estimar la estabilidad tanto general como local del terreno, utilizar técnicas adecuadas para minimizar el riesgo de deslizamientos, plantar vegetación nativa, evitar la saturación del terreno utilizando sistemas de drenajes y proteger el talud con sistemas de contención como muros. (Cooperación Ecuador Suiza (CSS), 1998)

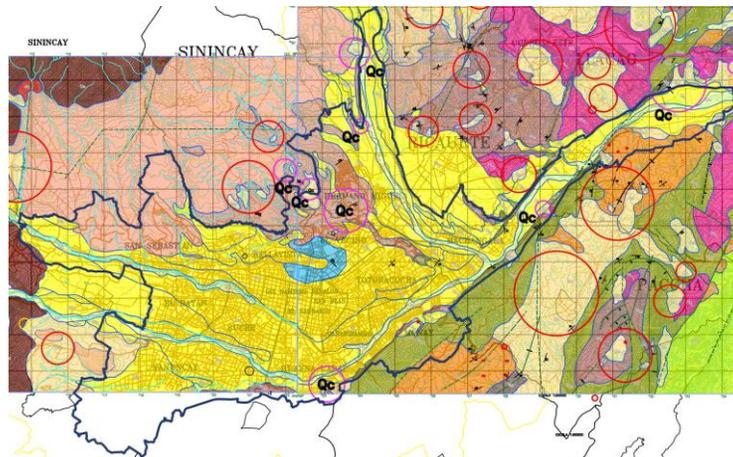
Zonas con depósitos coluviales dentro de Cuenca:

En la Figura 1-2 Mapa geológico de la ciudad de Cuenca, dentro de la simbología se ubican los depósitos coluviales de la ciudad, a continuación, se detallan cada uno de los sectores:

(Cooperación Ecuador Suiza (CSS), 1998)

-  Depósitos Coluviales dentro de la ciudad de Cuenca (QC)
-  Depósitos Coluviales en el Azuay
-  Límites de la ciudad de Cuenca

Figura 1-2 Mapa geológico de la ciudad de Cuenca



Fuente: Dirección general de gestión de riesgos de Cuenca, 1998

Zonas donde se encuentran estos depósitos:

- Colinas El Paraíso, Santa María del Vergel-Huayna Cápac.
- Centro de la ciudad: Los Cipreses-Hermano Miguel.
- Sector Colegio Luis Monsalve.
- Ochoa León.
- Río Sinincay, San Vicente.
- Quebrada del Salado.

- Challuabamba-Llacao.
- Sector Centro Educativo Santana.
- Guagualzhumi.

(Cooperación Ecuador Suiza (CSS), 1998)

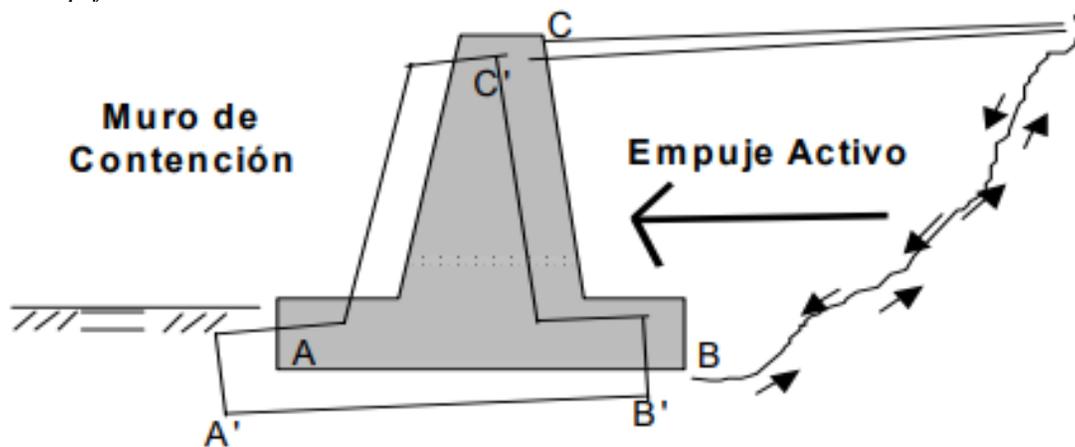
1.2 Empujes de los suelos

La fuerza ejercida por el terreno o masas de suelo carentes de cohesión sobre una estructura de contención se conoce como empuje o presión lateral del suelo, la magnitud de dicho empuje depende de la deformabilidad de la estructura. La planificación y ejecución adecuada de las estructuras se basa en su función principal que es soportar las fuerzas laterales generadas por taludes principalmente inestables. Dependiendo de la respuesta de la estructura ante la deformación se pueden describir 3 tipos de empujes principales: (Bañón, 2003)

1.2.1 Empuje activo

Es un tipo de empuje que ocurre cuando el suelo se extiende de tal manera que produce el desplazamiento del muro, dando como resultado un valor mínimo, a continuación, se muestra en la Figura 1-3 Empuje Activo. (Torres, 2008)

Figura 1-3 Empuje Activo

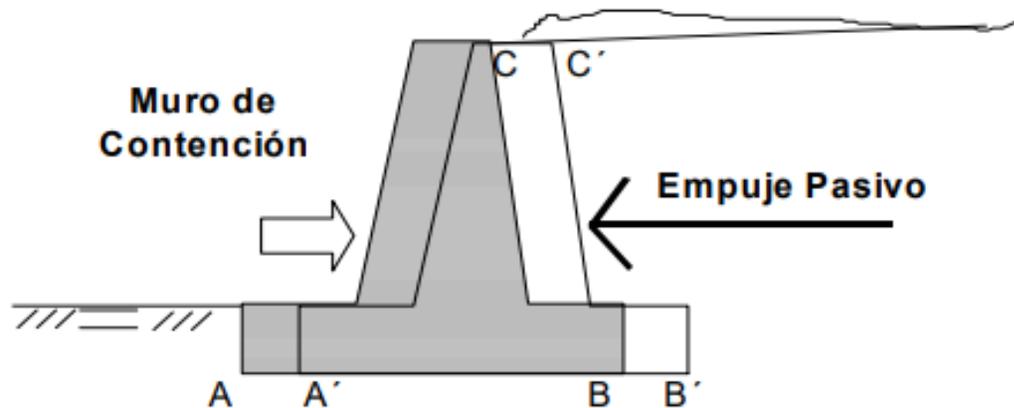


Fuente: Torres, 2008

1.2.2 *Empuje Pasivo*

Este empuje es contrario al empuje activo, en este caso, el muro provoca un empuje al suelo, de tal forma que comprime a las masas de tierra, desarrollando un alto valor de empuje, como lo indica la Figura 1-4 Empuje Pasivo. (Torres, 2008)

Figura 1-4 *Empuje Pasivo*

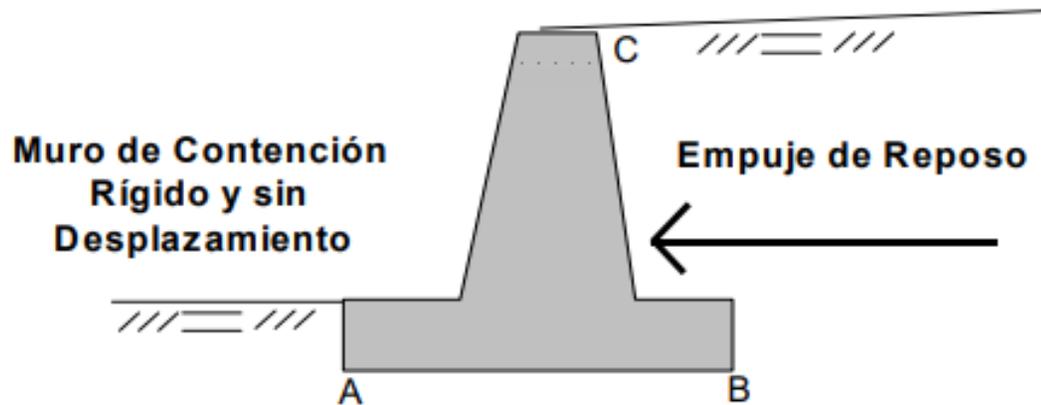


Fuente: Torres, 2008

1.2.3 *Empuje al reposo:*

En la Figura 1-5 Empuje de reposo hace referencia a un estado medio entre el empuje activo y pasivo, de modo que no existe desplazamiento del muro, ni expansión de la masa de la tierra. (Torres, 2008)

Figura 1-5 Empuje de reposo



Fuente: Torres, 2008

Es importante recalcar que la elección del tipo de empuje a considerar en el diseño de una estructura de contención depende de las características específicas del proyecto. (Bañón, 2003)

1.2.4 Teorías para el cálculo de empujes

A lo largo del tiempo se han desarrollado múltiples teorías e hipótesis para la determinación de los empujes de tierras, entre las principales y más utilizadas se encuentran:

- La teoría descrita por Rankine en 1857 para definir el campo tensional basándose en el equilibrio plástico.
- La teoría propuesta por Coulomb en 1776 que describe el equilibrio límite en base a un plano de rotura lineal.
- Métodos gráficos por Colman desarrollada en el año de 1875.
- Estimaciones a partir de superficies de rotura de la falla crítica por Terzaghi en 1948
- Método en base a empleo de ábacos desarrollada por Perck en el año 1948 y la segunda edición por NAUFAC en 1986. (Gomez & Hoyos, 2010)

1.3 Teorías de empuje de tierras

1.3.1 Teoría de Rankine

Esta teoría categoriza al suelo en un estado de equilibrio plástico, es decir, que cada punto dentro de una masa de tierra está en el límite de falla, empleo las mismas hipótesis de Coulomb, sin embargo, él afirmó la inexistencia de ángulo de fricción de un muro y cohesión del suelo. Este método es mucho más completo que el de Coulomb debido a que cada uno de los puntos que forman el círculo de Mohr tiene un estado tensional, haciendo estas tangenciales a su resistencia. (M Das, 1984) (Perez, 2020) (Gomez & Hoyos, 2010)

1.3.2 Suposiciones Rankine:

- El suelo es una masa de tierra homogénea e isotrópica.
- La cara interna del muro es vertical.
- El área donde se encuentra el relleno es horizontal.
- El empuje resultante se encuentra en el 1/3 del extremo inferior de la altura del muro.
- Considera que el empuje de la masa de suelo es paralelo a la inclinación del suelo, formando así un ángulo β con la horizontal.
- Las cargas distribuidas uniformemente intervienen en la superficie del suelo. (Perez, 2020) (Torres, 2008) (Gomez & Hoyos, 2010)

1.3.3 Deficiencias de la teoría:

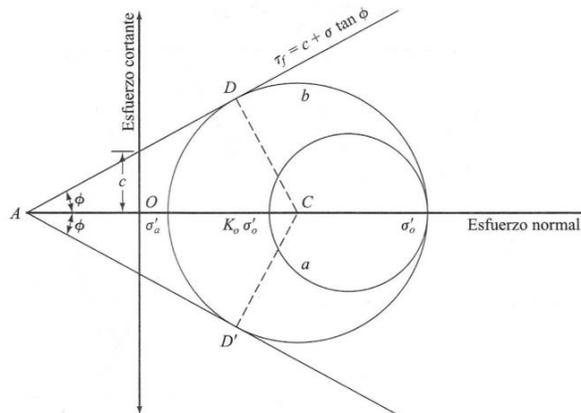
- No considera la fricción entre el muro y el suelo en donde se va a construir la estructura.
- Se utilizan parámetros para condiciones en las que los suelos del relleno están saturados.
- Para que los parámetros se cumplan, las paredes del muro deben ser completamente lisas, dicha condición en la realidad casi nunca ocurre, no obstante, los resultados que se obtienen

son considerados válidos debido a que se encuentran en el lado de la seguridad. (Perez, 2020) (Torres, 2008) (Gomez & Hoyos, 2010)

1.3.4 Empuje activo según Rankine (suelos granulares)

Los esfuerzos son representados mediante el círculo de Mohr en la Figura 1-6 Círculo de Mohr, presión activa, en la cual se muestra dos estados, el primero es el de esfuerzos de la masa del suelo que se encuentra representado por la circunferencia “a” y el estado en el cual el muro se desplaza separándose paulatinamente del suelo, obteniendo como resultado un esfuerzo horizontal mucho menor al inicial hasta que se llegue a graficar como la circunferencia “b”, este estado se conoce como equilibrio plástico y es aquí donde ocurre la falla de la masa de tierra, conocido como estado activo de Rankine. (M Das, 1984)

Figura 1-6 Círculo de Mohr, presión activa



Fuente: M Das, 1984

Existen dos ecuaciones según el ángulo de inclinación β del terreno.

- Cuando $\beta \neq 0$, la presión K_a se define en la Ecuación 1-1:

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad \text{Ecuación 1-1}$$

- Cuando $\beta = 0$, se muestra en la Ecuación 1-2, por lo que la presión K_a se obtiene:

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad \text{Ecuación 1-2}$$

De la misma manera mediante el desarrollo del círculo de Mohr se obtiene la forma general para el cálculo de la presión activa a partir de la integración como se muestra en la Ecuación 1-3:

$$P_a = \gamma z K_a = \int_0^H \gamma z K_a dz = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad \text{Ecuación 1-3}$$

(M Das, 1984)

1.3.5 Empuje pasivo según Rankine

Si se anulan los ángulos ψ , β , δ obtenemos la Ecuación 1-4 del empuje pasivo de Rankine:

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad \text{Ecuación 1-4}$$

- Para este caso al aumentar ϕ , la presión K_a disminuye de manera lineal.
- Por el contrario, al aumentar ϕ , la presión K_p aumenta de manera exponencial.

Dando como resultado la Ecuación 1-5 del esfuerzo horizontal pasivo:

$$P_p = \gamma z K_p = \int_0^H \gamma z K_p dz = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p \quad \text{Ecuación 1-5}$$

(M Das, 1984) (Torres, 2008)

1.3.6 Esfuerzos horizontales en suelos granulares

Para suelos granulares los esfuerzos se pueden obtener mediante las siguientes fórmulas, para el estado activo se define mediante la Ecuación 1-6:

$$\sigma_h = K_a * \sigma_v = K_a \gamma z \quad \text{Ecuación 1-6}$$

Así mismo se obtiene los esfuerzos horizontales para el empuje pasivo, se muestra en la Ecuación 1-7:

$$\sigma_h = Kp * \sigma_v = K\gamma z$$

Ecuación 1-7

(M Das, 1984) (Torres, 2008)

1.3.7 Teoría de presión de tierra de Coulomb

Coulomb plantea varias hipótesis para desarrollar su teoría entre estas se encuentran:

- El suelo es isotrópico y su composición es homogénea en toda la masa.
- El suelo tiene fricción y cohesión.
- La superficie de falla debe ser plana pero la del relleno puede ser inclinada.
- La resistencia al corte del suelo está distribuida de manera uniforme en toda la extensión de la superficie de falla.
- El ángulo de fricción entre la cuña de falla y el muro es δ .
- En la superficie del terreno no existe sobrecarga.
- El suelo puede estar seco o sumergido por completo.

(Gomez & Hoyos, 2010)

1.3.8 Deficiencias de la teoría de Coulomb:

- Considera al suelo como un medio ideal y a la zona de falla como plana.
- No se recomienda para el cálculo de empujes pasivos porque se obtienen valores demasiado altos.
- No se considera la acción de tensiones en el interior ni en el exterior de la cuña.

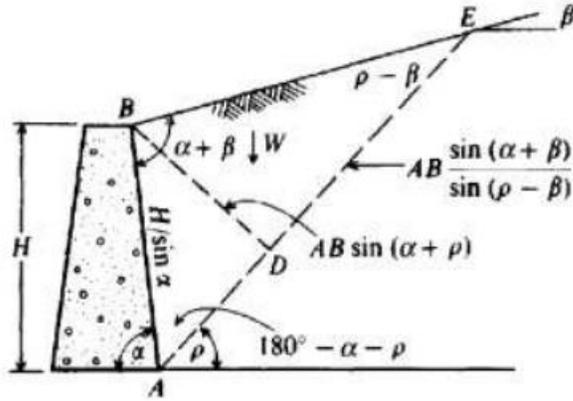
(Gomez & Hoyos, 2010)

1.3.9 Empuje activo según Coulomb

De la Figura 1-7 Parámetros del empuje activo se obtiene que γ simboliza el peso específico del suelo, H representa la altura de la estructura, W es el peso de la cuña de suelo, α se interpreta

como la inclinación del trasdós medido a partir del eje horizontal, ρ es la pendiente de la zona de falla y β la inclinación del relleno. (Gomez & Hoyos, 2010)

Figura 1-7 Parámetros del empuje activo



Fuente: Gómez & Hoyos,2010

Por lo tanto, se obtiene la formulación general simplificada para definir la presión activa en la Ecuación 1-8, donde K_a es el coeficiente de empuje activo Ecuación 1-9, siendo γ y H independientes. (Gomez & Hoyos, 2010) (M Das, 1984)

$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2} K_a \quad \text{Ecuación 1-8}$$

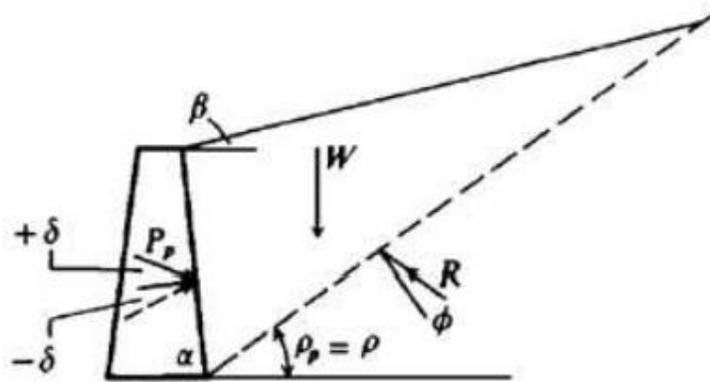
$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}} \right)^2} \quad \text{Ecuación 1-9}$$

1.3.10 Empuje pasivo según Coulomb

Como se visualiza en la

Figura 1-8 Parámetros del empuje pasivo mediante el uso de trigonometría, estática y formulación matemática se define la ecuación general para la presión pasiva, en donde K_p es el coeficiente de empuje pasivo. (Gomez & Hoyos, 2010)

Figura 1-8 Parámetros del empuje pasivo



Fuente: Gómez & Hoyos, 2010

Obteniendo la Ecuación 1-10 del empuje pasivo y la Ecuación 1-11 del coeficiente de presión activa (M Das, 1984)

$$P_p = \frac{\gamma H^2}{2} K_p$$

Ecuación 1-10

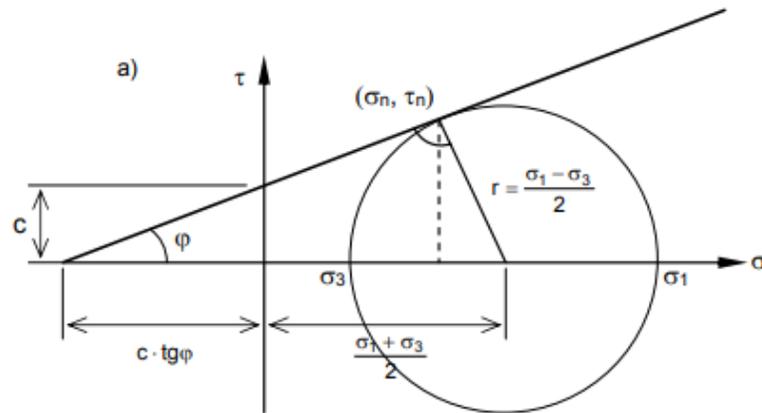
$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}} \right)^2}$$

Ecuación 1-11

1.4 Empujes en medios coherentes

Basándose en el teorema de los estados propuesto por Caquot, es posible generalizar la teoría de Rankine para suelos cohesivos. Debido a que la cohesión tiene un importante papel en la disminución del empuje que genera el terreno es imperativo incluir su valor dentro de la formulación para la obtención de valores de los empujes más precisos. Dicha cohesión se refleja mediante el diagrama de Mohr como un desplazamiento horizontal de la recta de resistencia intrínseca, de tal manera que la ordenada en el origen aumenta en un valor “c” que representa la cohesión como se muestra en la Figura 1-9 Empuje activo . (Bañón, 2003)

Figura 1-9 Empuje activo empuje de Rankine



Fuente: Bañón, 2003

Obteniendo como resultado las siguientes expresiones tanto para el empuje activo se tiene la

Ecuación 1-12 así como el pasivo en la

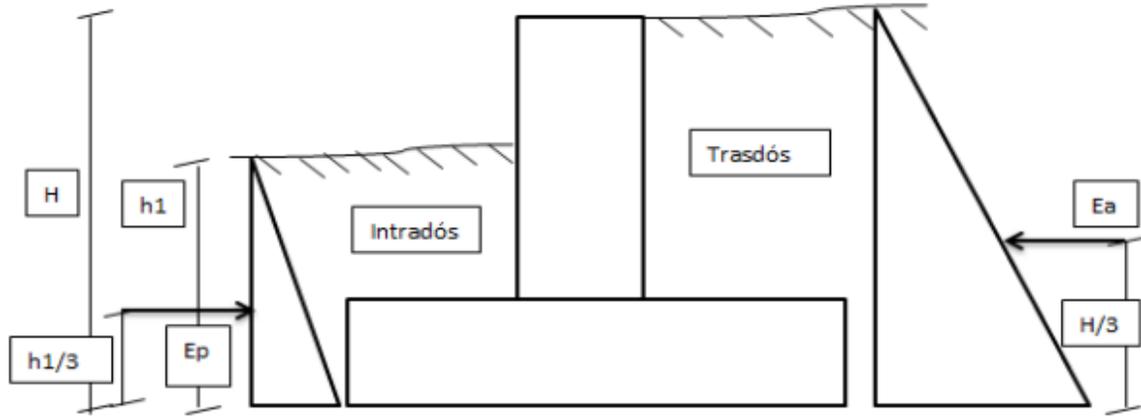
Ecuación 1-13 : (Bañón, 2003)

$$Ea = \frac{K\alpha\gamma H^2}{2} - 2cH\sqrt{Ka} \quad \text{Ecuación 1-12}$$

$$Ep = \frac{Kp\gamma H^2}{2} + 2cH\sqrt{Kp} \quad \text{Ecuación 1-13}$$

En la Figura 1-10 se puede identificar claramente los elementos mencionados anteriormente:

Figura 1-10 Forma y aplicación del empuje activo y pasivo



Fuente: Montero, 2016.

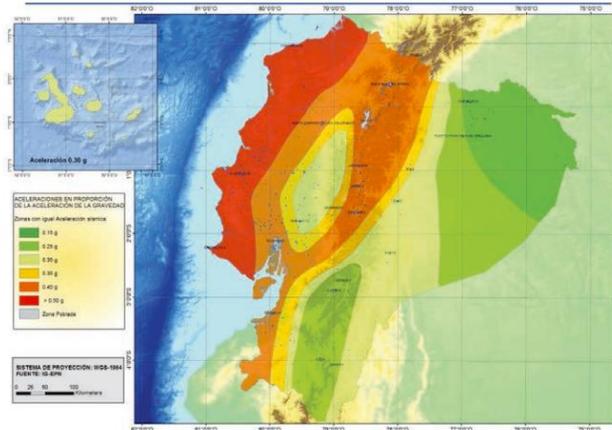
Cabe resaltar que es difícil estimar el efecto de la cohesión sobre los empujes del terreno, por lo que en algunos casos específicos se recomienda no considerarla en el diseño para asegurar la estabilidad, a pesar de que esto se resume en la obtención de valores más altos y por ende estructuras que podrían estar sobredimensionadas. (Torres, 2008)

1.5 Incremento dinámico del empuje activo como resultado del efecto sísmico

El Cinturón de fuego del Pacífico es denominada como la zona que alberga diferentes placas tectónicas que al chocar con las placas continentales ocasionan una reacción conocida como subducción, haciendo que estas zonas se caractericen por frecuentes erupciones volcánicas y actividad sísmica alta. Ecuador es uno de los países atravesados por esta cadena de placas, específicamente de la placa Nazca y la Sudamericana también conocida como Bloque Andino, las cuales serán responsables de los tipos de movimientos sísmicos que se producen en las tierras ecuatorianas. (Quinde & Reinoso, 2016)

Debido a esto la Normativa Ecuatoriana de la Construcción desarrollo un reglamento y zonifico al país según el grado de sismicidad, como se muestra en la Figura 1-11 Mapa de zonas sísmicas del Ecuador:

Figura 1-11 Mapa de zonas sísmicas del Ecuador



Fuente: NEC_SE, 2015

La ciudad de Cuenca posee una aceleración de 0.25 de la gravedad, la cual se encuentra catalogada como una zona altamente sísmica. Es indispensable tomar en consideración este aspecto para el diseño de cualquier tipo de estructuras. Para el diseño de estructuras de contención se aplica el incremento dinámico del empuje activo. Uno de los métodos usados en el caso sísmico es el de Mononobe-Okabe. (Torres, 2008)

El incremento dinámico del empuje activo (ΔDEa) hace referencia al desplazamiento de la parte superior del muro, caracterizándola por ser flexible de manera que aumentando la presión activa lo que provoca el movimiento telúrico, relacionado con un coeficiente de presión dinámica activa (Kas), calculado a partir de la Ecuación 1-14: (Torres, 2008)

$$\Delta DEa = \left(\frac{1}{2} * \gamma * s * H^2 \right) * (Kas - Ka) * (1 - Csv) \quad \text{Ecuación 1-14}$$

Se debe aplicar a los 2/3 de la altura, existen dos casos:

- Caso 1 cuando $\beta < \phi - \theta$ se utilizará la Ecuación 1-15:

$$K_{as} = \frac{\text{sen}^2 * (\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta * \text{sen}^2 \psi * \text{sen}(\psi - \delta - \theta) * \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) * \text{sen}(\phi - \beta - \theta)}{(\text{sen}(\psi - \delta - \theta)) * (\text{sen}(\psi + \beta))}}\right]^2} \quad \text{Ecuación 1-15}$$

- Caso 2 cuando $\beta > \phi - \theta$ se debe usar la Ecuación 1-16

$$K_{as} = \frac{\text{sen}^2 * (\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta * \text{sen}^2 \psi * \text{sen}(\psi - \delta - \theta)} \quad \text{Ecuación 1-16}$$

El valor de θ se obtiene mediante la Ecuación 1-17:

$$\theta = \arctan \frac{C_{sh}}{1 - C_{sv}} \quad \text{Ecuación 1-17}$$

De tal forma que:

- **Csh:** el coeficiente sísmico horizontal, Ecuación 1-18
- **Csv:** Coeficiente sísmico vertical, Ecuación 1-19
- **Z:** aceleración del suelo

(Torres, 2008)

$$C_{sh} = 0.5 * Z \quad \text{Ecuación 1-18}$$

$$C_{sv} = 0.7 * C_{sh} \quad \text{Ecuación 1-19}$$

El peso propio del muro es uno de los parámetros a tomar en cuenta para el análisis sísmico, obteniendo la fuerza sísmica como se muestra en la Ecuación 1-20:

$$F_{spp} = C_{sh} * \sum p.p \quad \text{Ecuación 1-20}$$

(Torres, 2008)

1.6 Inestabilidad de los suelos

Uno de los problemas más comunes es la inestabilidad de los suelos que pierden la capacidad para mantener las partículas de tierra unidas, dependiendo de diversos factores internos

o externos como la cohesión, erosión, compactación excesiva, presencia de agua, movimientos tectónicos, actividad volcánica, actividades antropológicas tales como la construcción, deforestación y usos inadecuados de los suelos. (Cooperación Ecuador Suiza (CSS), 1998)

Las formas en las que se puede presentar la inestabilidad de masas de tierra son los deslizamientos, licuefacción, hundimientos, entre otros. Existen varios fenómenos que causan la pérdida de estabilidad en los terrenos: (Cooperación Ecuador Suiza (CSS), 1998)

Deslizamientos: se considera como grandes masas de tierra que ruedan a velocidades relativamente bajas, constituyendo suelos con erosión laminar y el desprendimiento del mismo. (Cooperación Ecuador Suiza (CSS), 1998)

Derrumbes: estas masas de tierra se deslizan a una gran velocidad, incluye diferentes tipos de materiales rocosos discontinuos, de tal forma que anula la estabilidad a lo largo de terrenos con cualquier tipo de topografía que presentan discontinuidades. (Cooperación Ecuador Suiza (CSS), 1998)

Escombros: la saturación de terrenos inestables representa un gran peligro debido a que las masas se desprenden en flujos violentos a lo largo de drenajes naturales, siendo la erosión fluvial una de las características predominantes de estos suelos. (Cooperación Ecuador Suiza (CSS), 1998)

1.7 Módulo de reacción o coeficiente de balasto (K_s)

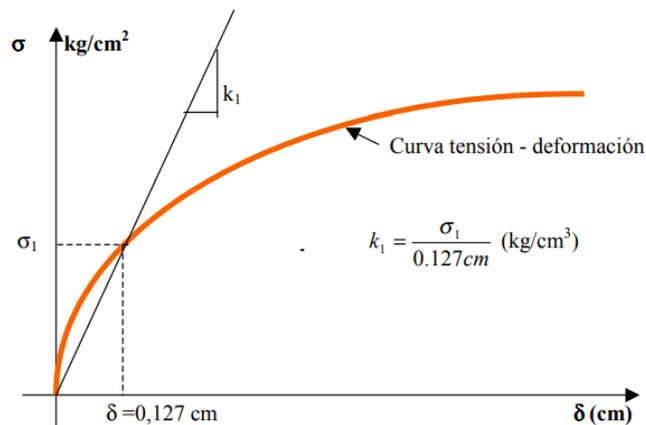
Es la relación que existe entre la fuerza que se transmite al terreno (q) y la deformación (δ) que genera la misma a partir de una placa que se presiona sobre el suelo provocando un asentamiento de 0.127 cm como se indica en la Ecuación 1-21: (Leoni, 2020) (Cortés, 2010)

$$K_s = \frac{q}{\delta}$$

Ecuación 1-21

Este coeficiente se obtiene mediante la curva esfuerzo-deformación, que resulta de la unión del punto de origen del Figura 1-12 Coeficiente de Balasto con un punto de la curva, dando lugar a la pendiente de la recta, conocido también como Coeficiente de Balasto. (Leoni, 2020) (Cortés, 2010)

Figura 1-12 Coeficiente de Balasto



Fuente: Augusto José Leoni, 2020.

En el caso de estructuras de contención de tipo pantalla es importante la determinación de estos coeficientes puesto que muestra la rigidez o flexibilidad del suelo en un punto determinado el cual puede cambiar dependiendo del sentido de desplazamiento. La rigidez del terreno se comporta de manera lineal, por lo que la rigidez es directamente proporcional a la profundidad del suelo, es decir, al aumentar la profundidad de excavación del suelo el valor de la rigidez va a incrementar, dando como resultado al gradiente del módulo de balasto el cual se define como el incremento del módulo por profundidad de excavación del terreno. (CYPE CAD, 2024)

El coeficiente de balasto se presenta mediante un subíndice que indica la dimensión de la placa con la que se realiza el ensayo, es decir, si la placa de ensayo posee medidas de 30x30 cm,

se representa de la siguiente manera K_{s30} . No obstante, en la Tabla 1-2 se muestra los valores aproximados para los diferentes tipos de suelo. (Cortés, 2010)

Tabla 1-2 Coeficiente de Balasto

Clases de suelo	Coeficiente de balasto (kp/cm ³)
Suelo ligero de turba y cenagoso	0,5 - 1,0
Suelo pesado de turba y cenagoso	1,0 - 1,5
Arena fina de ribera	1,0 - 1,5
Capas de humus, arena y grava	1,0 - 2,0
Tierra arcillosa mojada	2,0 - 3,0
Tierra arcillosa húmeda	4,0 - 5,0
Tierra arcillosa seca	6,0 - 8,0
Tierra arcillosa seca dura	10,0 -
Humus firmemente estratificado con arena y pocas piedras	8,0 - 10,0
Humus firmemente estratificado con arena y muchas piedras	10,0 - 12,0
Grava fina con mucha arena fina	8,0 - 10,0
Grava media con arena fina	10,0 - 12,0
Grava media con arena gruesa	12,0 - 15,0
Grava gruesa con arena gruesa	15,0 - 20,0
Grava gruesa con poca arena	15,0 - 20,0
Grava gruesa con poca arena, muy firmemente estratificada	20,0 - 25,0

Fuente: Freire Tellado, 1999

1.8 Tipología de estructuras de contención

1.8.1 Muros a gravedad

Los muros de gravedad son estructuras de contención que soportan el empuje del terreno gracias a su propio peso y en menor cantidad al peso del suelo que recae sobre los mismos. Su comportamiento es pasivo, es decir, únicamente actúan cuando el suelo tiende a desplazarse, resistiendo las cargas laterales, sin embargo, no siempre son los más adecuados para deslizamientos de gran proporción o rotacionales ya que su altura es limitada, especialmente en suelos cohesivos como los arcillosos. Suelen ser económicos y relativamente fáciles de construir principalmente para alturas inferiores a 5 metros, siendo una opción viable para prevención y remediación de movimientos de tierra pequeños. Para su diseño se deben considerar diversos factores y realizar análisis específicos para no comprometer la seguridad y economía de la estructura, como, por ejemplo, la base del muro debe ser lo más angosta posible para abaratar costos, sin embargo, debe ser lo suficientemente ancha como para garantizar estabilidad ante fenómenos de volcamiento y deslizamiento. (Suarez, 2012)

De acuerdo a su rigidez se dividen en dos tipos generales:

Muros rígidos: se trata de estructuras generalmente edificadas con concreto que no se pueden deformar significativamente sin que exista una rotura, por lo que son altamente resistentes a la flexión y requieren de cimientos más fuertes por su sensibilidad a los asentamientos del terreno. Se incluyen muros de hormigón armado, hormigón simple, ciclópeo con o sin columnas de refuerzo y muros de mampostería. (Suarez, 2012)

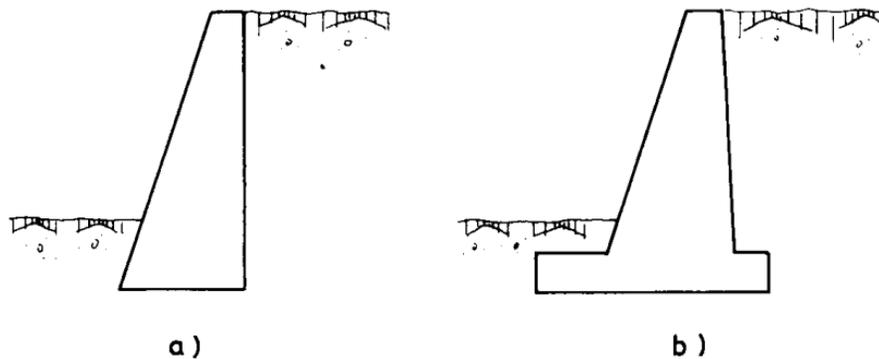
Muros flexibles: son estructuras masivas y adaptables a los movimientos del terreno, que resisten las presiones activas ejercidas por el suelo deformándose sin romper su armazón. A pesar de ser menos resistentes que los muros rígidos su edificación es mucho más simple. En esta

categoría se encuentran muros de gaviones, criba, pedraplenes, muros de tierra con neumáticos (neusol) e incluso bolsacreto. (Suarez, 2012)

En este caso se dividen en dos tipos de muros según el diseño con cimentación y sin cimentación como se muestra en

Figura 1-13 Muros a gravedad sin cimentación.

Figura 1-13 Muros a gravedad sin cimentación (a) y con cimentación (b)



Fuente: Calavera, 1987

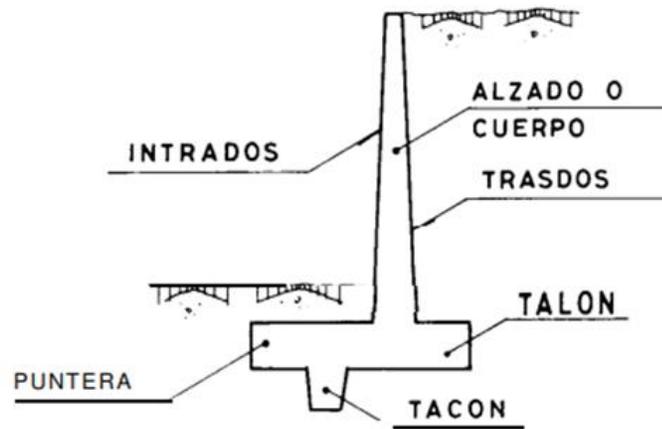
1.8.2 Muros a flexión o tipo Ménsula

Se conocen como muros tipo ménsula o cantiléver, en los que su base trabaja como un cimiento empotrado, simulando el comportamiento de un voladizo. Son estructuras esbeltas diseñadas para resistir momentos flectores y el cortante generados por el empuje, utilizan distintos elementos para aumentar su resistencia y distribuir de mejor manera los esfuerzos, como contrafuertes o estribos además de la colocación de suelo de relleno en la cimentación, lo que permite aumentar el peso del sistema, así como la edificación de elementos opcionales para anclar el muro al terreno, por ejemplo, dentellones o tacones. (Suarez, 2012) (Gomez & Hoyos, 2010)

Por otra parte, se pueden identificar los elementos principales en la Figura 1-14 Elementos de un muro entre los que se encuentran:

- **Pantalla o alzado:** elemento principal del muro, por lo general es de concreto.
- **Base:** su función es transmitir las fuerzas al terreno. (Suarez, 2012)
- **Talón:** parte inferior de la pantalla, más gruesa para resistir mayor flexión. (Suarez, 2012)
- **Punta:** parte superior de la pantalla, tiende a ser más delgada. (Suarez, 2012)
- **Armadura:** refuerzo de acero que proporciona resistencia al muro. (Suarez, 2012)

Figura 1-14 Elementos de un muro



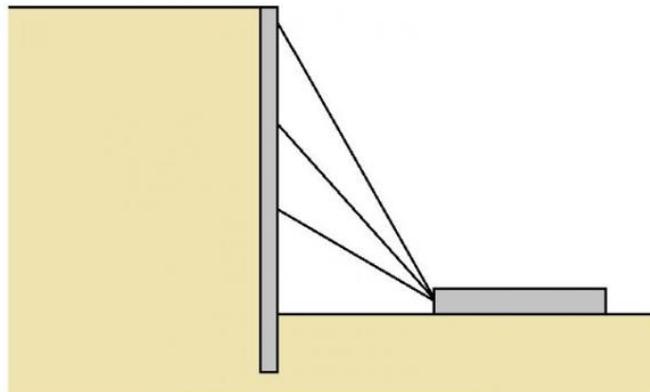
Fuente: Calavera, 1987

Existen diversos tipos y configuraciones para aumentar la rigidez, el tipo de muro a emplear dependerá de las características morfológicas del terreno, si el talud es de relleno o corte y la altura requerida. Son versátiles y económicos para alturas menores de 10 metros, para alturas mayores se recomiendan muros de contrafuertes, teniendo en cuenta que la utilización de estribos o contrafuertes puede resultar más económica que un muro empotrado en L o T invertida, sin embargo, para todos los tipos es necesario incluir un sistema de drenaje para impedir el represamiento de agua. (Suarez, 2012) (Gomez & Hoyos, 2010)

1.8.3 Muros pantalla apuntalada

Este tipo de estructuras de contención trabajan mayormente a flexión, para retener masas de tierra se genera un tipo de empuje pasivo entre la pantalla y el suelo, su uso principal es el de delimitar espacios de edificación que cuenta con construcciones adyacentes, así como para la construcción de estacionamientos subterráneos y sótanos. Debido a que son cuerpos muy largos y esbeltos al momento de emplazarlos en el suelo se producirán ciertas deformaciones, por lo tanto, su construcción se realiza desde arriba hacia abajo con la guía de pilotes, además necesitan de estructuras que funcionen como apoyo de ser necesario, por ejemplo, codales metálicos, celosías o puntales con durmientes fijos como se muestra en la Figura 1-15 Muro de pantalla. (Suarez, 2012)

Figura 1-15 Muro de pantalla

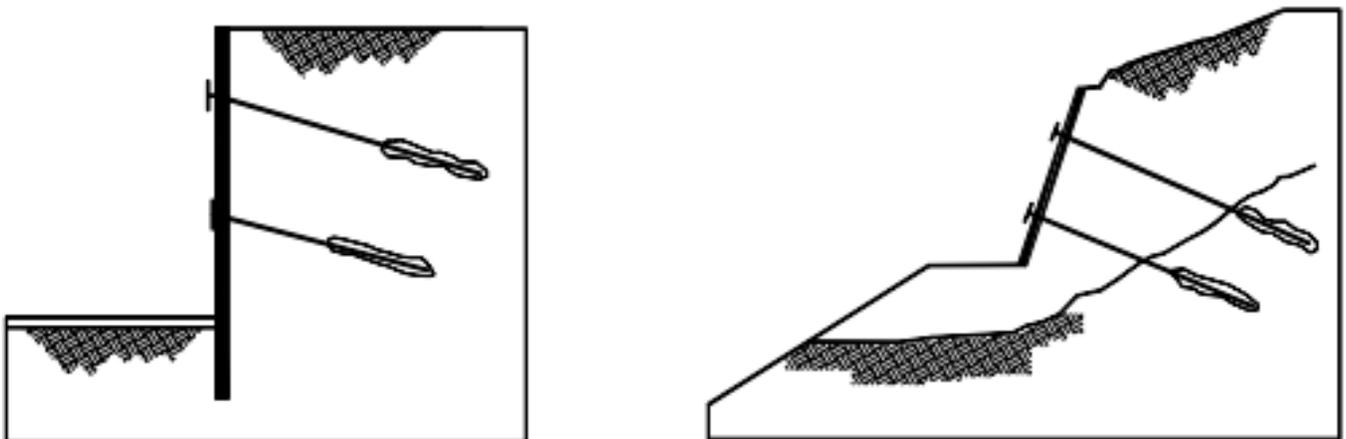


Fuente: Víctor Yépez, 2016

1.8.4 Muros de pantalla anclada

De acuerdo a Suarez (2012) “son pantallas delgadas de concreto armado, las cuales se pueden construir utilizando concreto proyectado o fundidas en el sitio. A las pantallas de concreto se les colocan hileras de anclas o varios niveles” (p.151). La acción de anclaje genera un esfuerzo opuesto al del deslizamiento estabilizando el terreno, mientras que la tensión inducida por los cables trabaja a compresión aumentando la resistencia al cortante. Es importante tener en cuenta que al ser elementos metálicos se deben considerar métodos que eviten su corrosión, además, se debe asegurar que la profundidad de los anclajes sea suficiente para localizar el bulbo de presiones por detrás de las superficies de falla tanto reales como potenciales como se puede observar en la Figura 1-16 Estabilidad de taludes utilizando pantalla anclada. (Suarez, 2012)

Figura 1-16 Estabilidad de taludes utilizando pantalla anclada



Fuente: Suarez,2012

1.9 Normativa de construcción NEC 2015

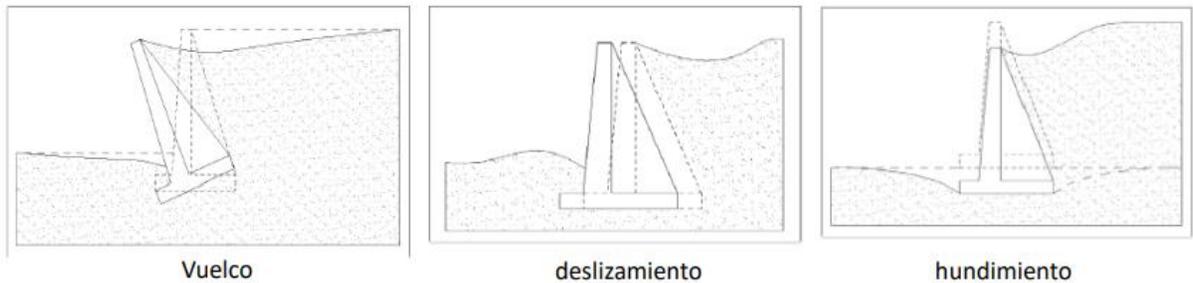
La Norma Ecuatoriana de Construcción establece requisitos mínimos de seguridad constructiva y que son de cumplimiento obligatorio a nivel nacional. Contiene varios apartados para casos específicos aplicables a todo tipo de construcción civil, dentro del capítulo de geotecnia y cimentaciones se describen actividades de reconocimiento de campo e investigación de subsuelo para el diseño y construcción de obras que se encuentran en contacto con el suelo, incluyendo análisis y recomendaciones para la prevención de daños a construcciones vecinas, protección de la vida humana y optimización y seguridad para el diseño y construcción. (Torres, 2008)

1.9.1 Factores de estabilidad

Para el diseño de estructuras de contención se estudia la estabilidad a distintos fenómenos originados por la interacción suelo-muro, siendo volcamiento, desplazamiento, presiones de contacto (hundimiento), como se muestra en la Figura 1-17 Factores de estabilidad:

(NEC-SE-GC, 2015)

Figura 1-17 Factores de estabilidad



Fuente: Torres, 2008

1.9.2 Método de los esfuerzos admisibles o estado límite de servicio

De acuerdo con el capítulo 7 de la NEC_SE (2014) los estados límites de servicio que deben ser revisados son: asentamiento, giro y deformación excesiva del muro, para ello el diseño considera cada uno de los elementos del muro para tener una resistencia mayor o igual a la requerida “Rs” representado en la Ecuación 1-22, misma que se obtiene tanto para cargas como para fuerzas de servicio de acuerdo a las combinaciones estipuladas en la norma. (NEC-SE-GC, 2015)

Este método disminuye la resistencia nominal “Rn”, correspondiente al estado límite de agotamiento resistente que está en función de las características mecánicas de los materiales y su geometría, al dividirla para un factor de seguridad “Fs” establecido por la misma norma, como se muestra en la siguiente Ecuación 1-23: (NEC-SE-GC, 2015)

$$R_s \leq R_{adm} \quad \text{Ecuación 1-22}$$

$$R_{adm} \leq \frac{R_n}{F_S} \quad \text{Ecuación 1-23}$$

1.9.3 Estabilidad al volcamiento

Para el análisis de vuelco se toman en cuenta las características geométricas del muro, calculando los momentos con respecto a la arista inferior de la base en el extremo de la punta. La estabilidad se verifica para casos estáticos y pseudo-estáticos mediante la relación inversa entre los momentos estabilizantes “Me”, producidos por el peso del material de relleno y el peso propio de la estructura, y los de volcamiento “Mv”, generados por empujes del terreno, dando como resultado un factor de seguridad “FSv” que debe cumplir con los siguientes valores. (NEC-SE-GC, 2015)

Para análisis estático y constructivo se representa en la Ecuación 1-24:

$$FSv = \frac{Me}{Mv} \geq 3 \quad \text{Ecuación 1-24}$$

Y para análisis pseudo-estático mediante la Ecuación 1-25:

$$FSv = \frac{Me}{Mv} \geq 2 \quad \text{Ecuación 1-25}$$

(NEC-SE-GC, 2015)

1.9.4 Estabilidad al deslizamiento

Para evitar el deslizamiento se verifica que los empujes tanto verticales como horizontales, puedan ser contrarrestados por las fuerzas de rozamiento entre la base del muro y el suelo, a esta relación entre fuerzas deslizantes y resistentes se conoce como factor de seguridad al deslizamiento “FSd”, de igual manera se analizan casos estáticos y pseudo-estáticos en los que no es necesario considerar el empuje pasivo a menos que se garantice su perduración durante la vida efectiva de la estructura. (NEC-SE-GC, 2015)

La Ecuación 1-27 para combinaciones de cargas estáticas:

$$FSd = \frac{Fr}{Eh} \geq 1.6 \quad \text{Ecuación 1-26}$$

La Ecuación 1-27 para cargas dinámicas o sismo:

$$FSd = \frac{Fr}{Eh} \geq 1.05 \quad \text{Ecuación 1-27}$$

Por lo tanto, la fuerza de rozamiento Fr se obtiene mediante la Ecuación 1-28:

$$Fr = u(Rv + Ev) + C' * B + Ep \quad \text{Ecuación 1-28}$$

Donde u representa el coeficiente de fricción muro-suelo, C' la cohesión, “Ep” el empuje pasivo, “Ev” el empuje vertical y “Rv” la resultante de los empujes. (NEC-SE-GC, 2015)

Si el valor de u es inexistente, se puede calcular mediante La Ecuación 1-29 para casos dinámicos: (NEC-SE-GC, 2015)

$$u = \tan\left(\frac{2}{3} * \phi\right) \quad \text{Ecuación 1-29}$$

Y la Ecuación 1-30 para casos estáticos:

$$u = \tan \phi. \quad \text{Ecuación 1-30}$$

Donde ϕ representa el ángulo de fricción interna.

De igual manera, si el tipo de suelo no tiene cohesión, entonces el producto entre el coeficiente de la cohesión del suelo (C') y el ancho de la base (b) es cero, por lo que el empuje pasivo es nulo, caso contrario los valores de C' se encuentran mediante la Ecuación 1-31:

$$c' = (0.5 \text{ a } 0.7) * C \quad \text{Ecuación 1-31}$$

Obteniendo así la Ecuación 1-32 de la NEC 2015:

$$FSd = \frac{u(\Sigma Fv)}{\Sigma Fh} \quad \text{Ecuación 1-32}$$

(NEC-SE-GC, 2015)

1.9.5 Presiones de contacto

Al aplicar una carga sobre el suelo, la carga se reparte de manera uniforme en toda el área que se encuentre bajo la misma, es decir, las fuerzas ejercidas por la carga actúan perpendicularmente a la superficie del suelo, por lo que el riesgo de que exista un hundimiento o asentamientos diferenciales aumenta considerablemente. (NEC-SE-GC, 2015) (Torres, 2008)

De acuerdo con Torres Belandria (2008): “la capacidad admisible del suelo de fundación σ_{adm} debe ser mayor que el esfuerzo de compresión máximo o presión de contacto σ_{max} ”

transferido al terreno por el muro, para todas las combinaciones de carga” (p.11), por lo tanto, se utilizan la Ecuación 1-33 para su comprobación: (Torres, 2008) (NEC-SE-GC, 2015)

$$\sigma_{adm} \leq \frac{q_{ult}}{FS_{cap.portante}} \quad \text{Ecuación 1-33}$$

Donde FS capacidad portante representa el factor de seguridad a la falla, que, en concordancia con la NEC_SE (2015), no debe ser menor a 1.5 para cargas dinámicas y a 2.5 para cargas estáticas. (NEC-SE-GC, 2015)

Debido a que un buen diseño procura que la base del muro se mantenga sometida a compresión para evitar los esfuerzos de tracción en el suelo de cimentación, la resultante de las fuerzas de presión ejercidas por la carga debe mantenerse en el tercio medio de la misma. En caso de que la excentricidad supere el tercio medio se debe recalcular la presión máxima, ya que el diagrama para este caso será triangular y no rectangular, provocando que la resultante “Rv” no coincida con el centro de gravedad previamente calculado y que existan asentamientos diferenciales entre la punta y el talón. Entonces, la ecuación para determinar dicha excentricidad se calcula mediante la Ecuación 1-35:

$$e_x = \left(\frac{B}{2} - X_r \right) \quad \text{Ecuación 1-34}$$

$$X_r = \frac{Me - Mv}{Rv} \quad \text{Ecuación 1-35}$$

(Torres, 2008) (NEC-SE-GC, 2015)

De la Ecuación 1-35, “Xr” representa la posición de la resultante medida desde el extremo inferior de la esquina de la punta del muro.

Por otra parte, para garantizar que “Rv” se encuentre dentro del tercio medio se utiliza la relación de la Ecuación 1-36 :

$$e_{max} \leq \frac{B}{6} \quad \text{Ecuación 1-36}$$

(Torres, 2008) (NEC-SE-GC, 2015)

Si la desigualdad se cumple, entonces se calculan los esfuerzos con la Ecuación 1-37 y la Ecuación 1-38:

$$\sigma_{max} = \frac{Rv}{B * 1m} \left(1 + \frac{6 * e_x}{B} \right) \quad \text{Ecuación 1-37}$$

$$\sigma_{min} = \frac{Rv}{B * 1m} \left(1 - \frac{6 * e_x}{B} \right) \quad \text{Ecuación 1-38}$$

Existe un rango de valores de excentricidad definido por la Ecuación 1-39 :

$$\frac{B}{6} \leq e_x \leq \frac{B}{2} \quad \text{Ecuación 1-39}$$

(NEC-SE-GC, 2015) (Torres, 2008)

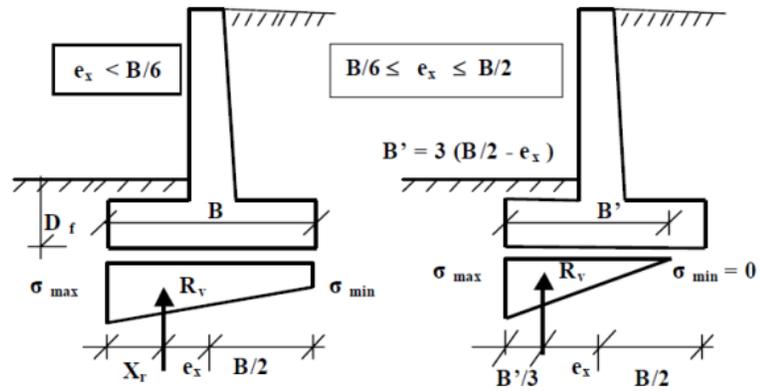
En tal caso, se deberán calcular únicamente el esfuerzo máximo mediante la Ecuación 1-40, debido a que el esfuerzo mínimo es cero:

$$\sigma_{max} = \frac{2 * Rv}{3 * \left(\frac{B}{2} - |e_x| \right)} \quad \text{Ecuación 1-40}$$

(NEC-SE-GC, 2015) (Torres, 2008)

A continuación, en la Figura 1-18 se demuestran las ecuaciones previamente descritas con el uso del contacto donde se pueden identificar los diagramas de esfuerzos y el punto de aplicación de la resultante “Rv” representado con una flecha. (Torres, 2008)

Figura 1-18 Presiones de contacto



Fuente: Torres, 2008

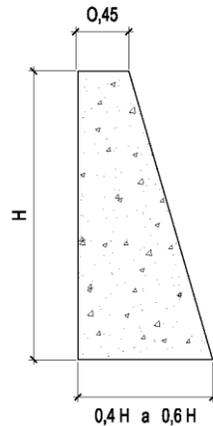
2 Análisis y diseño de estructuras de contención

2.1 Muro a gravedad hormigón ciclópeo

2.1.1 Prediseño

Antes de iniciar el diseño de las estructuras se realizó el pre dimensionamiento, según Vicente (2012) para el prediseño de la base del muro, es directamente proporcional a la altura de la pantalla de la estructura como se muestra en la Figura 2-1 Pre dimensionamiento de muros a gravedad. No obstante, existen varias literaturas en las cuales se menciona que la medida para la corona del muro debe ser mayor o igual a 30 cm sin ser este un condicionante para escoger dicha medida.

Figura 2-1 Pre dimensionamiento de muros a gravedad



Fuente: Vicente, 2012

De igual manera con la base existen rangos aceptables para el pre dimensionamiento que pueden ir entre $0.4-0.5H$ a $0.6-0.7H$, para cada diferente tipo de altura. Obteniendo así la

Tabla 2-1 donde se visualiza los resultados para cada altura y tipo de suelo a analizar.

Tabla 2-1 Pre diseño de base en dependencia de la altura

Tipo de suelo	Altura (m)	Corona (m)	Base 0.5h (m)	Base 0.7 h (m)	Base considerada (m)
CL	2.5	0.4	1.25	1.75	1.75
GW	2.4	0.3	1.2	1.68	1.6
SC	2.4	0.35	1.2	1.68	1.65
CL	4.6	0.4	2.3	3.22	3.15
GW	4.6	0.4	2.3	3.22	2.7
SC	4.5	0.4	2.25	3.15	2.9
CL	6.9	0.6	3.45	4.83	4.5
GW	6.9	0.5	3.45	4.83	3.8
SC	6.9	0.5	3.45	4.83	4.2

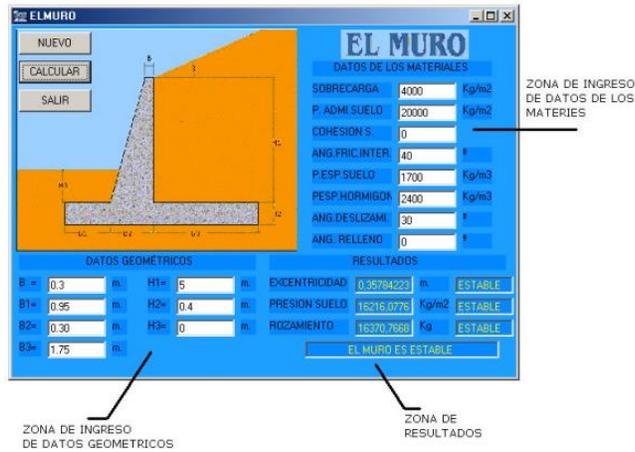
Fuente: elaboración propia, 2024

2.1.2 Diseño

El diseño de muros a gravedad se llevó a cabo mediante un software, desarrollado por la estudiante Daniela Astudillo de la Universidad de Cuenca en el año 2004, el cual se basa en la Teoría de presión de tierra de Coulomb presentado anteriormente en el capítulo 3, además de utilizar la normativa ACI318M-11. En la

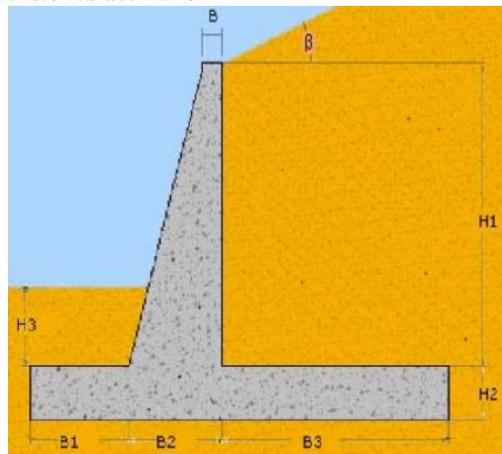
Figura 2-2 Pantalla de ingreso de datos del software y muro se expone las zonas donde se ingresa los datos, se obtiene los resultados y se detalla el dimensionamiento del muro en la Figura 2-3:

Figura 2-2 Pantalla de ingreso de datos del software



Fuente: Astudillo, 2004

Figura 2-3 Simbología de las dimensiones del muro



Fuente: Astudillo, 2004

De acuerdo a la altura y el tipo de suelo se realizó el diseño en el programa mencionado, se consideró tres alturas diferentes siendo 2,4 y 6 m, para 3 tipos de suelos que posee la ciudad de Cuenca siendo estos Arcilla de baja plasticidad (CL), Grava bien graduada (GW) y Arena Arcillosa (SC).

- **Muros de Gravedad de 2m**

Los datos del muro se encuentran en la Tabla 2-2 y la Figura 2-4 a continuación para un suelo determinado:

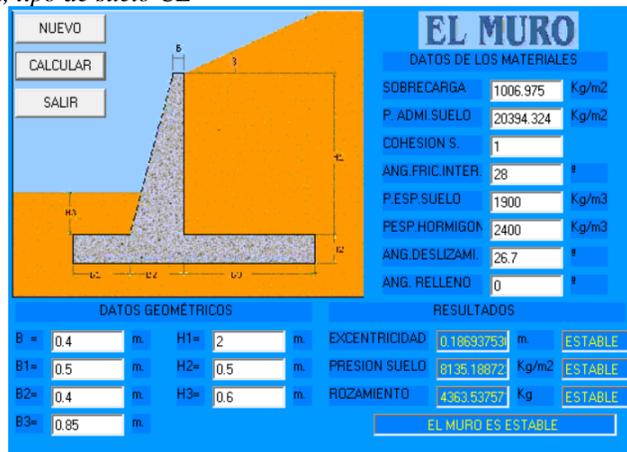
Tabla 2-2 Datos muro de 2m, tipo de suelo CL

Tipo de muro	Gravedad
Tipo de suelo SUCS	CL
Capacidad admisible (kg/m²)	20394.324
Angulo de fricción	28
Cohesión C' (kg/m²)	1
Peso específico suelo (kg/m³)	1900
Sobrecarga (kg/m²)	1006.975
Altura pantalla (H) m	2
Ancho superior del parapeto (m)	0.40
Base total (B) m	1.75
Punta (b1)	0.50
Talón (b3)	0.85
Base central (b2)	0.40
Espesor base h2 (m)	0.6
Espesor del estrato h3 (m)	0.60
Coefficiente de fricción (u)	0.50
Angulo de deslizamiento	26.70

Fuente: elaboración propia, 2024

En la Figura 2-4 se presenta el ingreso de datos especificados y obtención de resultados:

Figura 2-4 Diseño muro 2m, tipo de suelo CL



Fuente: elaboración propia, 2024

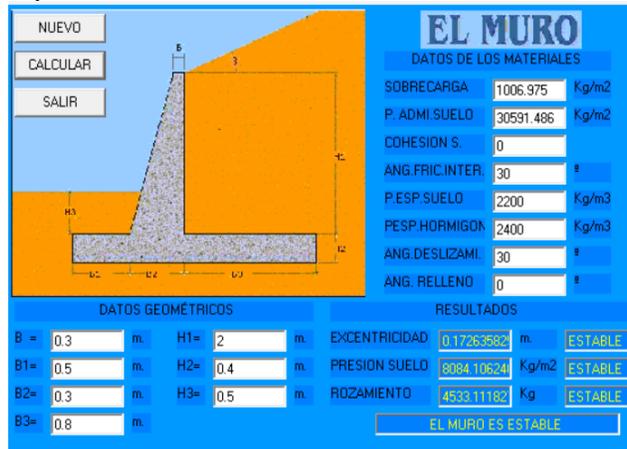
En la Tabla 2-3 y la Figura 2-5 se expone los datos del tipo de suelo GW con sus resultados respectivos.

Tabla 2-3 Datos del muro de 2m, tipo de suelo GW

Tipo de muro	Gravedad
Tipo de suelo SUCS	GW
Capacidad admisible (kg/m2)	30591.486
Angulo de fricción	30
Cohesión C' (kg/m2)	0
Peso específico suelo (kg/m3)	2200
Sobrecarga (kg/m2)	1006.975
Altura pantalla (H) m	2
Ancho superior del parapeto (m)	0.30
Base total (B) m	1.60
Punta (b1)	0.50
Talón (b3)	0.80
Base central (b2)	0.30
Espesor base h2 (m)	0.4
Espesor del estrato h3 (m)	0.50
Coefficiente de fricción (u)	0.57
Angulo de deslizamiento	30.00

Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-5 Diseño muro 2m, tipo de suelo GW



Fuente: elaboración propia, 2024

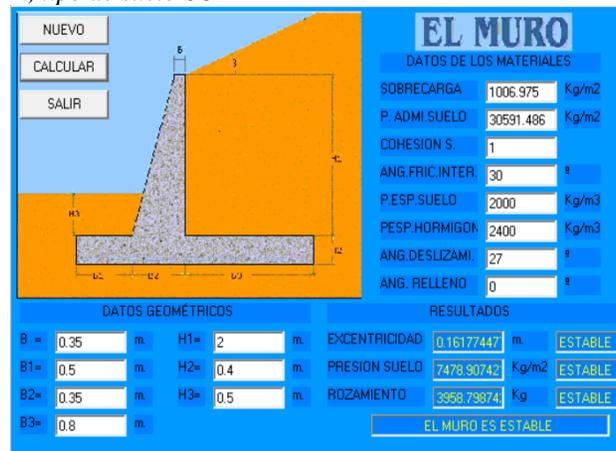
En la Tabla 2-4 y la Figura 2-6 se expone los datos del tipo de suelo SC con sus resultados respectivos.

Tabla 2-4 Datos de muro 2m, tipo de suelo SC

Tipo de muro	Gravedad
Tipo de suelo SUCS	SC
Capacidad admisible (kg/m²)	30591.486
Angulo de fricción	30
Cohesión C' (kg/m²)	1
Peso específico suelo (kg/m³)	2000
Sobrecarga (kg/m²)	1006.975
Altura pantalla (H) m	2
Ancho superior del parapeto (m)	0.35
Base total (B) m	1.65
Punta (b1)	0.50
Talón (b3)	0.80
Base central (b2)	0.35
Espesor base h2 (m)	0.4
Espesor del estrato h3 (m)	0.50
Coefficiente de fricción (u)	0.40
Angulo de deslizamiento	27.00

Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-6 Diseño muro de 2m, tipo de suelo SC



Fuente: elaboración propia, 2024

- **Muros de Gravedad de 4m**

Los datos y resultados del muro de altura 4m se modelan a continuación en la Tabla 2-5 y

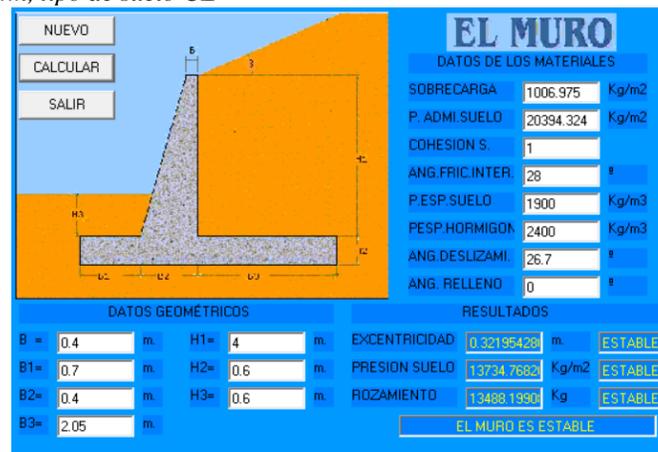
LA Figura 2-7 para un tipo de suelo CL.

Tabla 2-5 Datos muro 4m, tipo de suelo CL

Tipo de muro	Gravedad
Tipo de suelo SUCS	CL
Capacidad admisible (kg/m²)	20394.324
Angulo de fricción	28
Cohesión C' (kg/m²)	1
Peso específico suelo (kg/m³)	1900
Sobrecarga (kg/m²)	1006.975
Altura pantalla (H) m	4
Ancho superior del parapeto (m)	0.4
Base total (B) m	3.2
Punta (b1)	0.7
Talón (b3)	2.05
Base central (b2)	0.40
Espesor base h2 (m)	0.6
Espesor del estrato h3 (m)	0.60
Coefficiente de fricción (u)	0.32
Angulo de deslizamiento	26.70

Fuente: elaboración propia

Figura 2-7 Diseño muro 4m, tipo de suelo CL



Fuente: elaboración propia, 2024

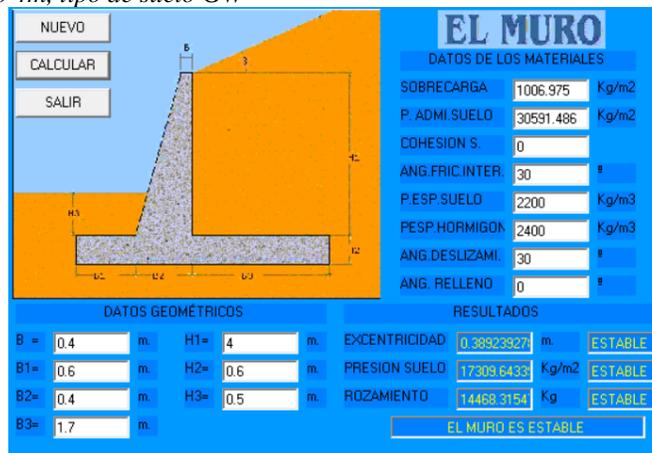
En la Tabla 2-6 y Figura 2-8 se expone los datos del tipo de suelo GW con sus resultados respectivos.

Tabla 2-6 Datos de muro 4m, tipo de suelo GW

Tipo de muro	Gravedad
Tipo de suelo SUCS	GW
Capacidad admisible (kg/m²)	30591.486
Angulo de fricción	30
Cohesión C' (kg/m²)	0
Peso específico suelo (kg/m³)	2200
Sobrecarga (kg/m²)	1006.975
Altura pantalla (H) m	4
Ancho superior del parapeto (m)	0.4
Base total (B) m	2.7
Punta (b1)	0.6
Talón (b3)	1.7
Base central (b2)	0.40
Espesor base h2 (m)	0.6
Espesor del estrato h3 (m)	0.50
Coefficiente de fricción (u)	0.57
Angulo de deslizamiento	30.00

Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-8 Diseño de muro 4m, tipo de suelo GW



Fuente: elaboración propia

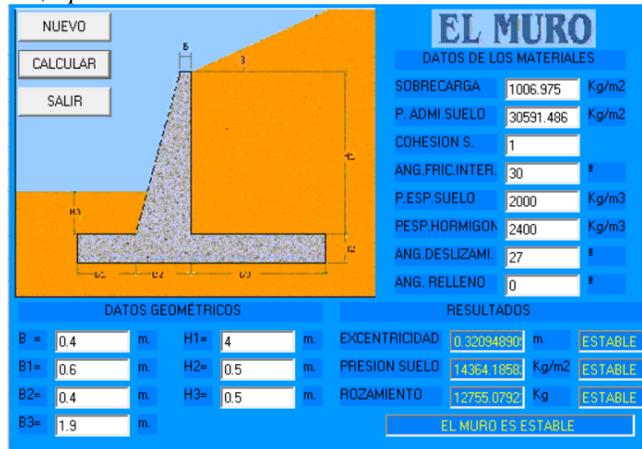
En la Tabla 2-7 y Figura 2-9 se expone los datos del tipo de suelo SC con sus resultados respectivos.

Tabla 2-7 Datos de muro 4m, tipo de suelo SC

Tipo de muro	Gravedad
Tipo de suelo SUCS	SC
Capacidad admisible (kg/m²)	30591.486
Angulo de fricción	30
Cohesión C' (kg/m²)	1
Peso específico suelo (kg/m³)	2000
Sobrecarga (kg/m²)	1006.975
Altura pantalla (H) m	4
Ancho superior del parapeto (m)	0.4
Base total (B) m	2.9
Punta (b1)	0.6
Talón (b3)	1.9
Base central (b2)	0.40
Espesor base h2 (m)	0.5
Espesor del estrato h3 (m)	0.50
Coefficiente de fricción (u)	0.40
Angulo de deslizamiento	27.00

Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-9 Diseño de muro 4m, tipo de suelo SC



Fuente: elaboración propia, 2024

- **Muros de Gravedad de 6m**

Los datos y resultados del muro de altura 4m se modelan a continuación en la Tabla 2-8 y

Fuente: elaboración propia, 2024

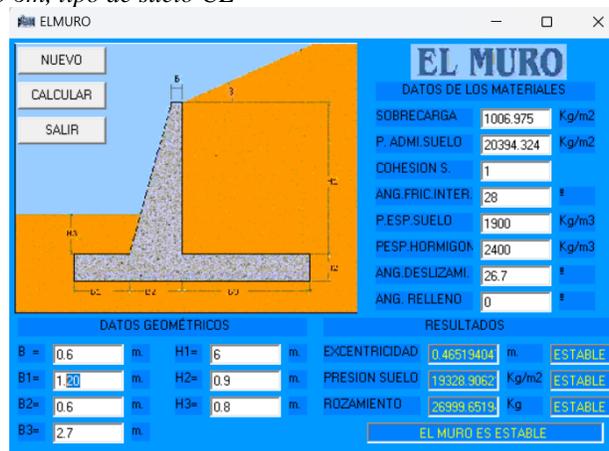
Figura 2-10 para un tipo de suelo CL.

Tabla 2-8 Datos de muro 6m, tipo de suelo CL

Tipo de muro	Gravedad
Tipo de suelo SUCS	CL
Capacidad admisible (kg/m²)	20394.324
Angulo de fricción	28
Cohesión C' (kg/m²)	1
Peso específico suelo (kg/m³)	1900
Sobrecarga (kg/m²)	1006.975
Altura pantalla (H) m	6
Ancho superior del parapeto (m)	0.6
Base total (B) m	4.5
Punta (b1)	1.2
Talón (b3)	2.7
Base central (b2)	0.60
Espesor base h2 (m)	0.9
Espesor del estrato h3 (m)	0.80
Coefficiente de fricción (u)	0.32

Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-10 Diseño de muro 6m, tipo de suelo CL



Fuente: elaboración propia, 2024

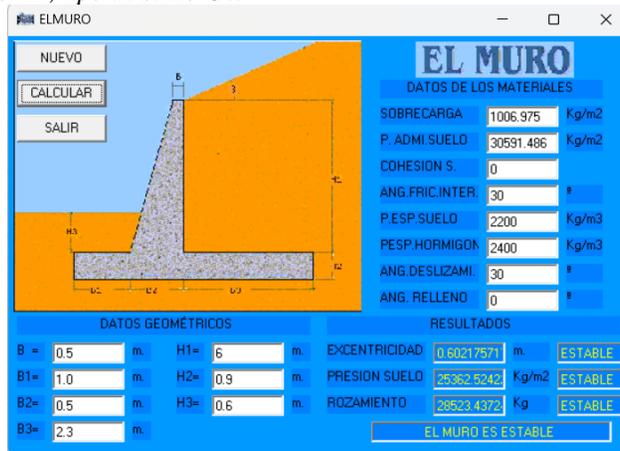
En la Tabla 2-9 y Figura 2-11 se expone los datos del tipo de suelo GW con sus resultados respectivos.

Tabla 2-9 Datos de muro 6m, tipo de suelo GW

Tipo de muro	Gravedad
Tipo de suelo SUCS	GW
Capacidad admisible (kg/m2)	30591.486
Angulo de fricción	30
Cohesión C' (kg/m2)	0
Peso específico suelo (kg/m3)	2200
Sobrecarga (kg/m2)	1006.975
Altura pantalla (H) m	6
Ancho superior del parapeto (m)	0.50
Base total (B) m	3.80
Punta (b1)	1.00
Talón (b3)	2.30
Base central (b2)	0.50
Espesor base h2 (m)	0.9
Espesor del estrato h3 (m)	0.60
Coefficiente de fricción (u)	0.57
Angulo de deslizamiento	30.00

Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-11 Diseño de muro 6m, tipo de suelo GW



Fuente: elaboración propia, 2024

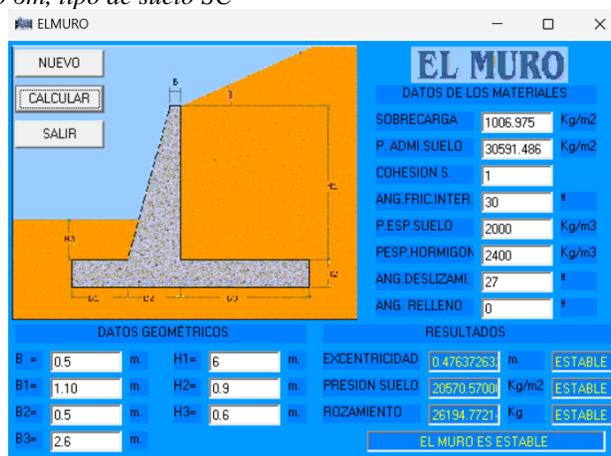
En la Tabla 2-10 y la Figura 2-12 se expone los datos del tipo de suelo SC con sus resultados respectivos.

Tabla 2-10 Datos de muro 6m, tipo de suelo SC

Tipo de muro	Gravedad
Tipo de suelo SUCS	SC
Capacidad admisible (kg/m²)	30591.486
Angulo de fricción	30
Cohesión C' (kg/m²)	1
Peso específico suelo (kg/m³)	2000
Sobrecarga (kg/m²)	1006.975
Altura pantalla (H) m	6
Ancho superior del parapeto (m)	0.50
Base total (B) m	4.20
Punta (b1)	1.10
Talón (b3)	2.60
Base central (b2)	0.50
Espesor base h2 (m)	0.9
Espesor del estrato h3 (m)	0.60
Coefficiente de fricción (u)	0.40
Angulo de deslizamiento	27.00

Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-12 Diseño de muro 6m, tipo de suelo SC

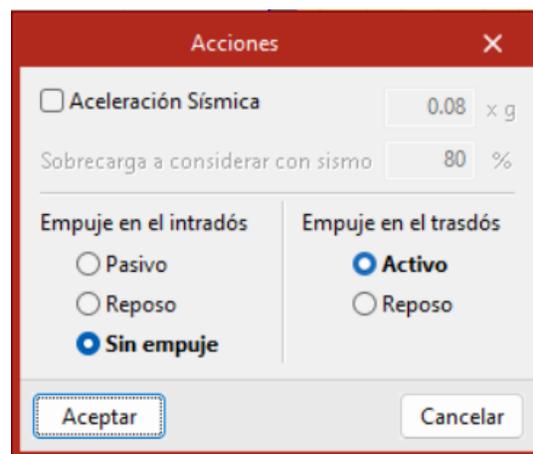


Fuente: elaboración propia, 2024

2.2 Muros Ménsula

El cálculo y dimensionamiento se realizó en el software CYPE CAD versión campus, en el diseño general se considera la estructura del muro, el tipo de suelo en el que está cimentado y el tipo de zapata, en este caso zapata corrida por ser la de uso más común, además el canto puede ser constante o variar con la existencia de escalones, principalmente para muros altos. El programa también considera las acciones del empuje que sean definidas, para este caso se utilizaron las que se muestran en la Figura 2-13:

Figura 2-13 Definición de empujes en el muro



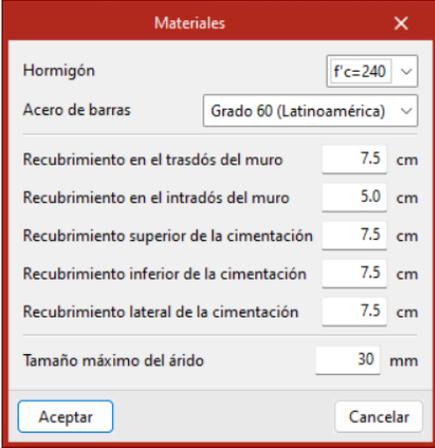
Fuente: elaboración propia, 2024

2.2.1 Materiales

Para el intradós se utilizó una acción de empuje nula, de tal forma que aporte a la seguridad del muro considerando que el suelo de relleno puede o no ser una constante, es decir, no existe una garantía de su permanencia, sin embargo, se considera su peso como componente vertical sobre la zapata. En cuanto a la norma utilizada para todos los casos es el ACI318M-19 por ser la que más se asemeja a la utilizada en nuestro país, así mismo, el enrase del muro se colocó en el intradós y la longitud en planta se diseñó para seis metros, por facilidades constructivas y para evitar desperdicios de material, ya que el acero de refuerzo grado 60 se comercializa en longitudes de

seis, nueve y hasta doce metros. En la Figura 2-14 se detallan los valores de resistencia del hormigón en MPa, recubrimiento y tamaño máximo del árido para los materiales.

Figura 2-14 Definir materiales del muro



Propiedad	Valor
Hormigón	f'c=240
Acero de barras	Grado 60 (Latinoamérica)
Recubrimiento en el trasdós del muro	7.5 cm
Recubrimiento en el intradós del muro	5.0 cm
Recubrimiento superior de la cimentación	7.5 cm
Recubrimiento inferior de la cimentación	7.5 cm
Recubrimiento lateral de la cimentación	7.5 cm
Tamaño máximo del árido	30 mm

Fuente: elaboración propia, 2024

2.2.2 Factores de seguridad

Los coeficientes de seguridad para deslizamiento, volcamiento y estabilidad general del sistema son los propuestos por la NEC-SE-GC en la tabla 5, sin embargo, el valor máximo permitido por el programa es 2, por lo que, en el caso del volcamiento donde se requiere que el valor del factor de seguridad en el caso estático sea mayor a 3, las comprobaciones se realizan cerciorándose que los valores calculados sean mayores al requerido y no únicamente a 2. El cálculo de los factores de seguridad en el software, se realizan mediante el método de Coulomb. A continuación, en la Figura 2-15 se detallan los coeficientes para cada caso.

Figura 2-15 Coeficientes de seguridad

Coeficientes de seguridad		Sin sismo	Con sismo
Deslizamiento		1.60	1.05
Vuelco		2.00	2.00
Círculo de deslizamiento pésimo		1.50	1.05

Fuente: elaboración propia, 2024

2.2.3 Alturas

Para el diseño se proponen tres alturas constantes para todos los tipos de suelo, considerando aquellas que son más utilizadas y apropiadas dependiendo de las características de cada muro. A continuación, en la Tabla 2-11 se detallan alturas de las pantallas propuestas, altura total obtenida y los tipos de suelo utilizados.

Tabla 2-11 Altura de la pantalla del muro

Tipo de suelo	Altura de la pantalla (m)			
	4	6	8	9.5
	Altura total (m)			
CL	4.40	6.70	9.10	10.70
SC	4.50	6.90	9.30	11.05
GW	4.60	6.95	9.30	10.75

Fuente: elaboración propia, 2024

2.2.4 Tipos de suelo

De igual manera, en la Figura 2-16, Figura 2-17 y Figura 2-18 se definen los valores de cohesión, ángulo de fricción, densidad aparente o peso específico y densidad sumergida utilizados para el diseño.

Figura 2-16 Estrato CL

The screenshot shows a dialog box titled "Editar estrato" with a close button (X) in the top right corner. The "Descripción" field contains "Arcilla baja plasticidad CL". Below this, there are four input fields with their respective units and a blue arrow icon to the right of each field:

Densidad aparente (d)	1.90	kg/dm ³
Densidad sumergida (ds)	0.95	kg/dm ³
Ángulo rozamiento interno (f)	28.00	grados
Cohesión (c)	1.02	t/m ²

At the bottom of the dialog box, there are two buttons: "Aceptar" (Accept) on the left and "Cancelar" (Cancel) on the right.

Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-17 Estrato GW

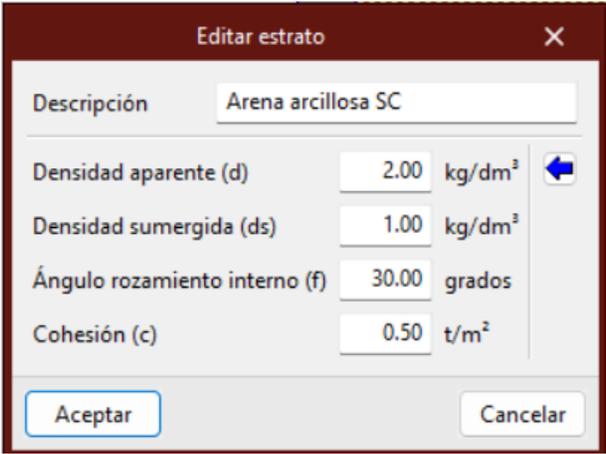
The screenshot shows a dialog box titled "Editar estrato" with a close button (X) in the top right corner. The "Descripción" field contains "Grava bien graduada GW". Below this, there are four input fields with their respective units and a blue arrow icon to the right of each field:

Densidad aparente (d)	2.20	kg/dm ³
Densidad sumergida (ds)	1.10	kg/dm ³
Ángulo rozamiento interno (f)	30.00	grados
Cohesión (c)	0.00	t/m ²

At the bottom of the dialog box, there are two buttons: "Aceptar" (Accept) on the left and "Cancelar" (Cancel) on the right.

Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-18 Estrato SC



The image shows a software dialog box titled "Editar estrato" with a close button (X) in the top right corner. The dialog contains a text field for "Descripción" with the value "Arena arcillosa SC". Below this are four rows of input fields for soil properties, each with a unit and a blue arrow icon to its right:

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad aparente (d)	2.00	kg/dm ³
Densidad sumergida (ds)	1.00	kg/dm ³
Ángulo rozamiento interno (f)	30.00	grados
Cohesión (c)	0.50	t/m ²

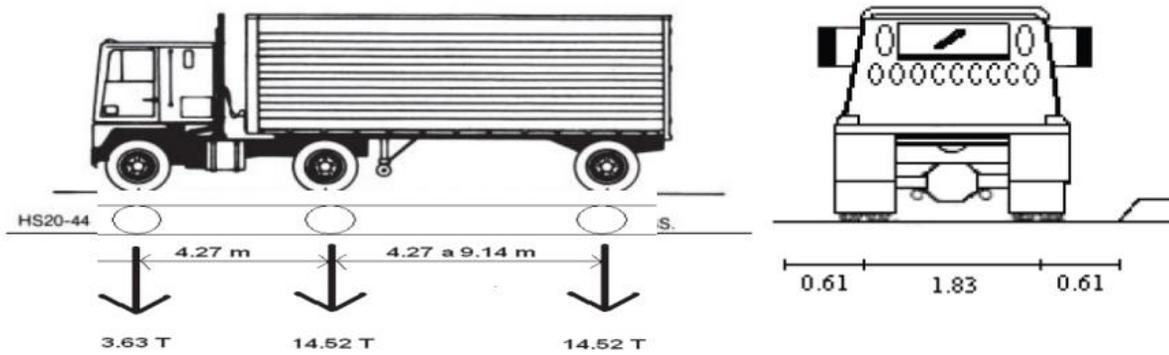
At the bottom of the dialog are two buttons: "Aceptar" (Accept) on the left and "Cancelar" (Cancel) on the right.

Fuente: elaboración propia, 2024

2.2.5 Sobrecarga de tráfico

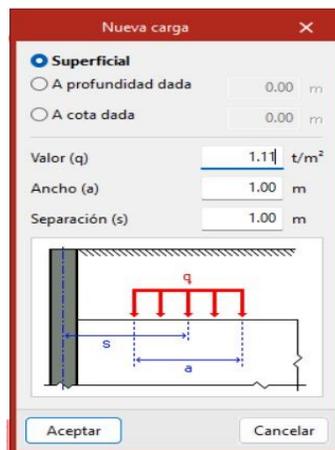
La sobrecarga utilizada para el modelamiento fue la estipulada en la norma AASHTO (2020) para el camión de diseño HS-20-44 detallado en la Figura 2-19 , tomando en cuenta los ejes traseros, los más desfavorables, se obtiene el esfuerzo actuante mediante la transmisión de carga por rueda y la distancia entre ejes, dando como resultado un valor de 1.11 ton/m², mismo que fue utilizado en cada caso e ingresado como carga distribuida de la forma en la que se muestra en la Figura 2-20.

Figura 2-19 Camión de diseño



Fuente: AASHTO, 2020

Figura 2-20 Sobrecarga de tráfico



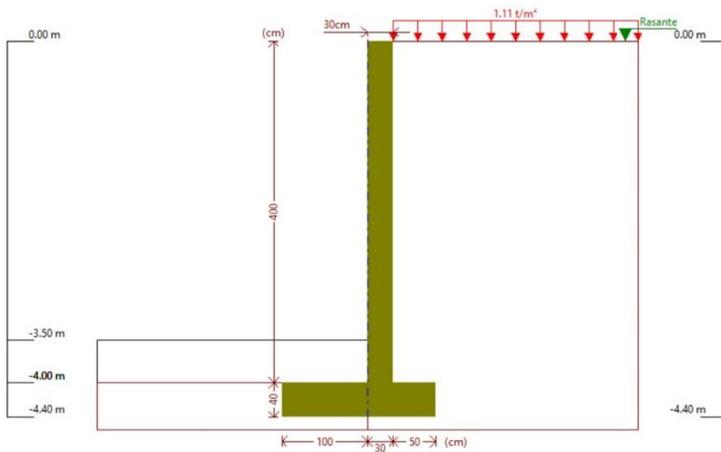
Fuente: elaboración propia, 2024

2.2.6 Diseño de muros tipo ménsula de 4 metros

- **Tipo de suelo CL**

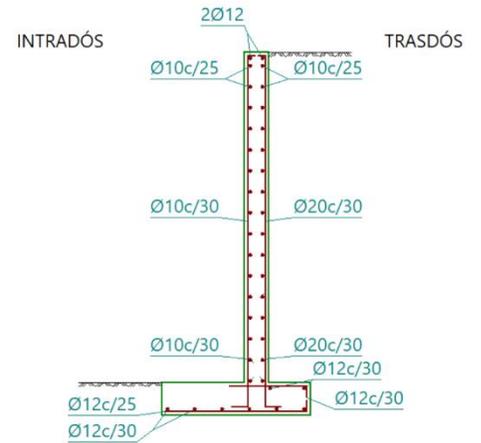
La estructura del muro se define en la Figura 2-22 y Figura 2-21:

Figura 2-22 Diseño geométrico muro 4m



Fuente: elaboración propia, 2024

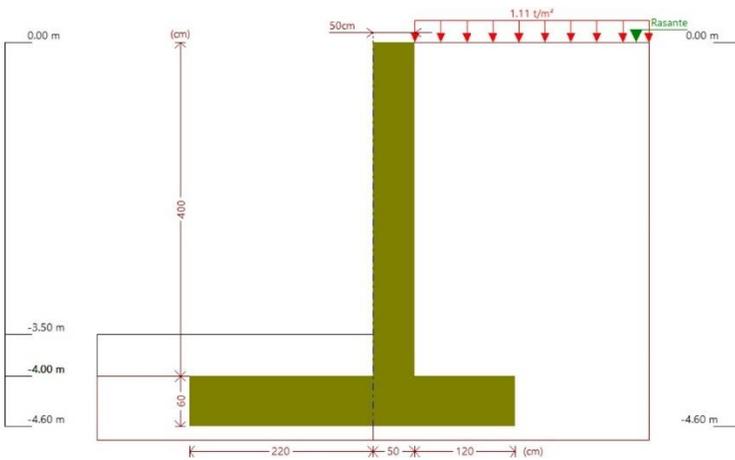
Figura 2-21 Armadura muro 4m



Fuente: elaboración propia, 2024

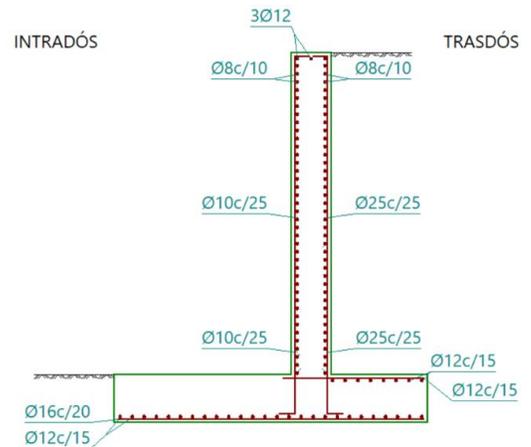
- **Tipo de suelo GW**

Figura 2-23 Diseño geométrico muro 4m



Fuente: elaboración propia, 2024

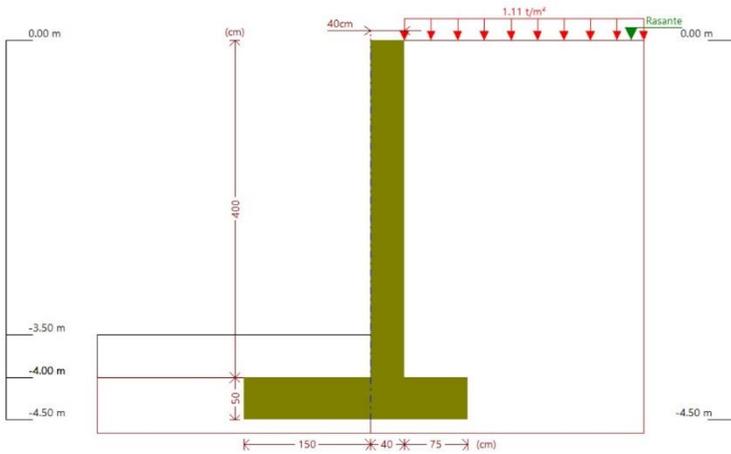
Figura 2-24 Armadura muro 4m



Fuente: elaboración propia, 2024

- Tipo de suelo SC

Figura 2-25 Diseño geométrico muro 4m



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-26 Armadura muro 4 m

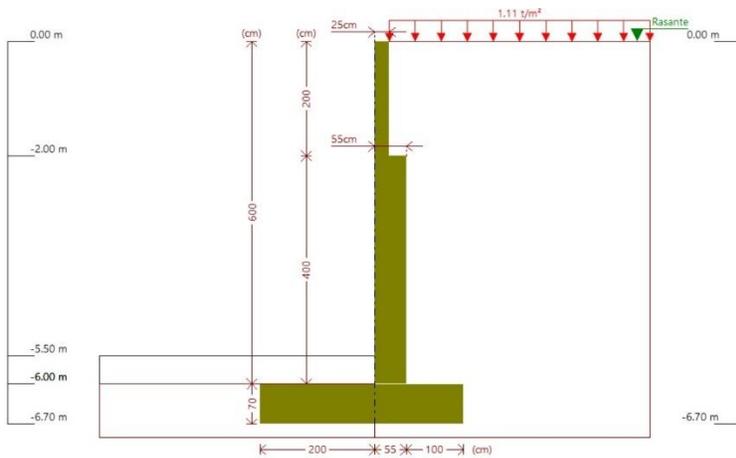


Fuente: elaboración propia, 2024

2.2.7 Diseño de muros tipo ménsula de 6 metros

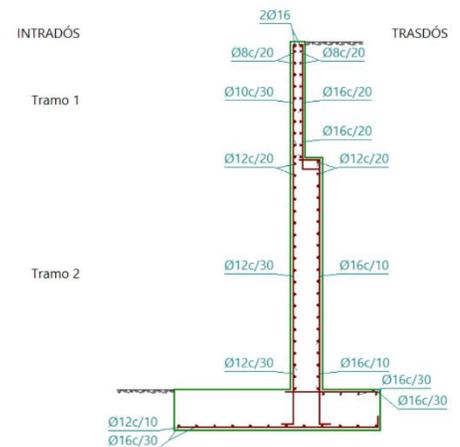
- Tipo de suelo CL

Figura 2-27 Diseño geométrico muro 6 m



Fuente: elaboración propia, 2024

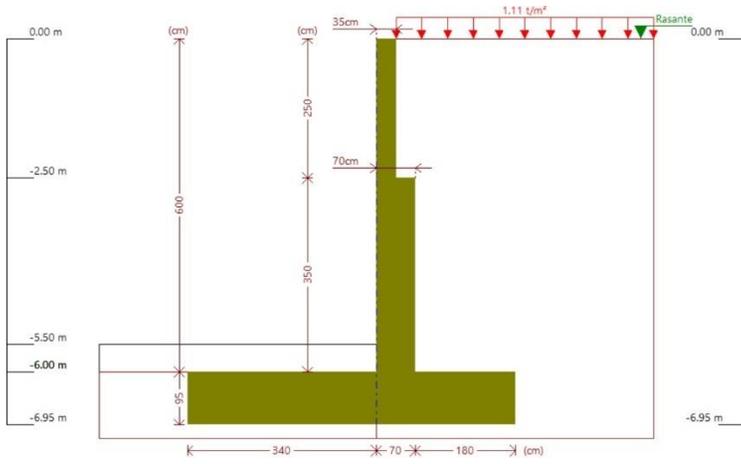
Figura 2-28 Armadura muro 6 m



Fuente: elaboración propia, 2024

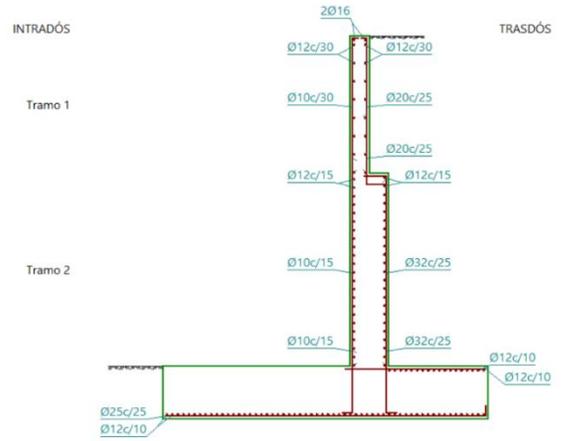
- **Tipo de suelo GW**

Figura 2-29 Diseño geométrico muro 6 m



Fuente: elaboración propia, 2024

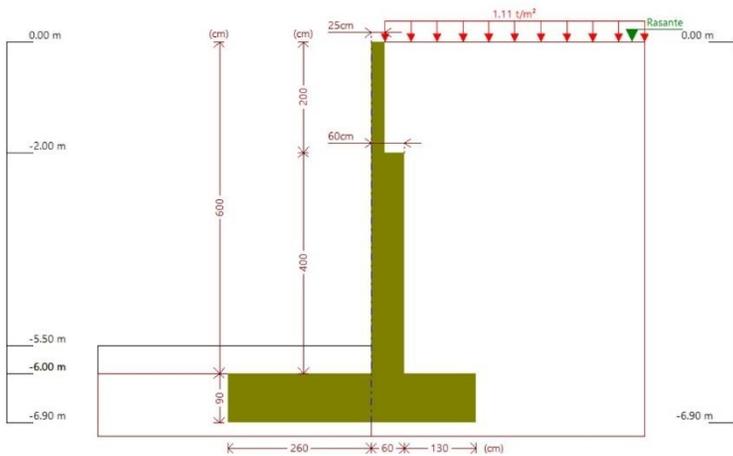
Figura 2-30 Armadura muro 6 m



Fuente: elaboración propia, 2024

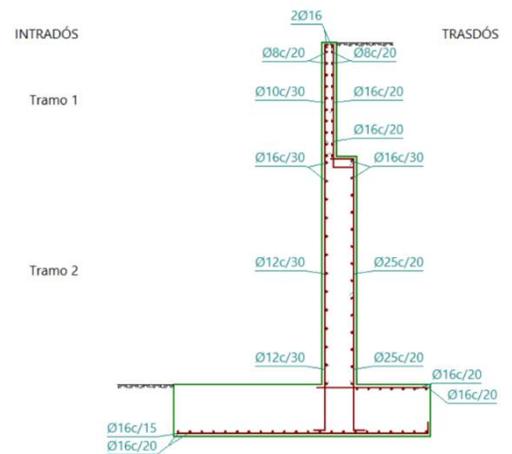
- **Tipo de suelo SC**

Figura 2-31 Diseño geométrico muro 6 m



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-32 Armadura muro 6m

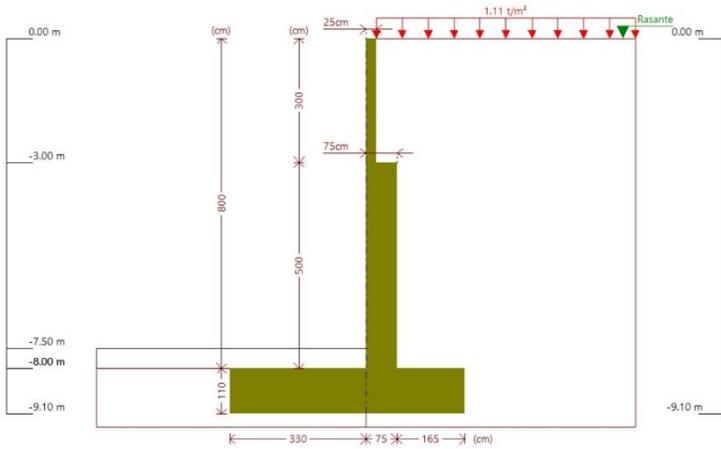


Fuente: elaboración propia, 2024

2.2.8 Diseño de muros tipo ménsula de 8 metros

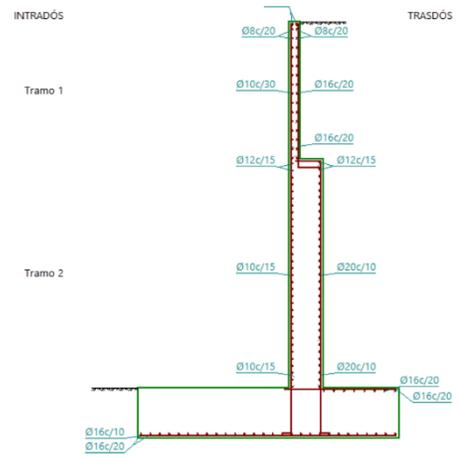
- Tipo de suelo CL

Figura 2-34 Diseño geométrico muro 8 m



Fuente: elaboración propia, 2024

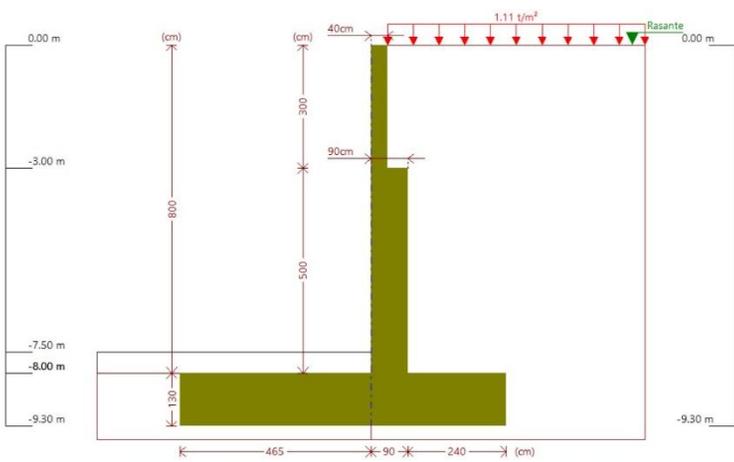
Figura 2-33 Armadura muro 8 m



Fuente: elaboración propia, 2024

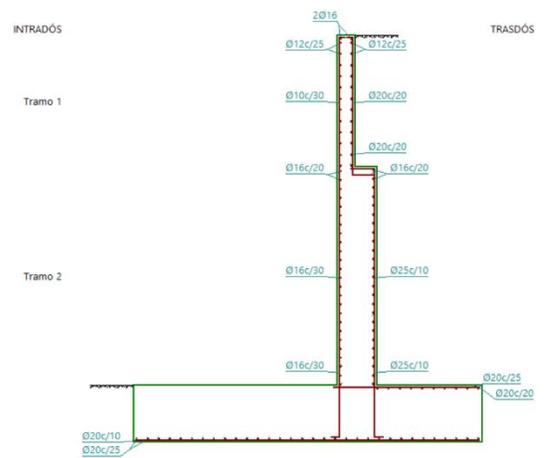
- Tipo de suelo GW

Figura 2-36 Diseño geométrico muro 8 m



Fuente: elaboración propia, 2024

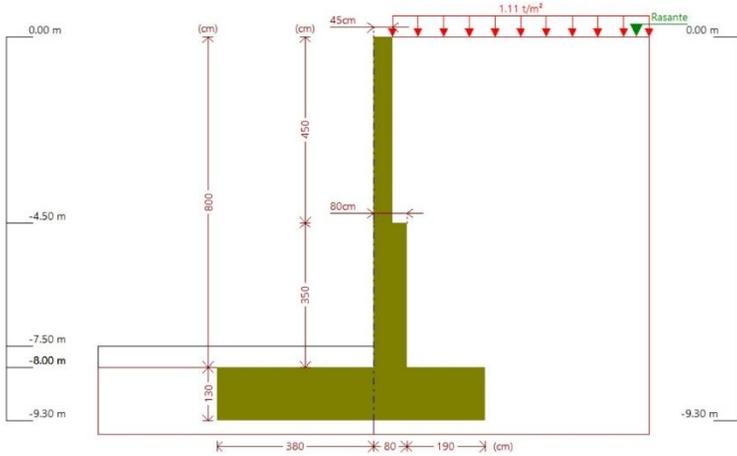
Figura 2-35 Armadura muro 8 m



Fuente: elaboración propia, 2024

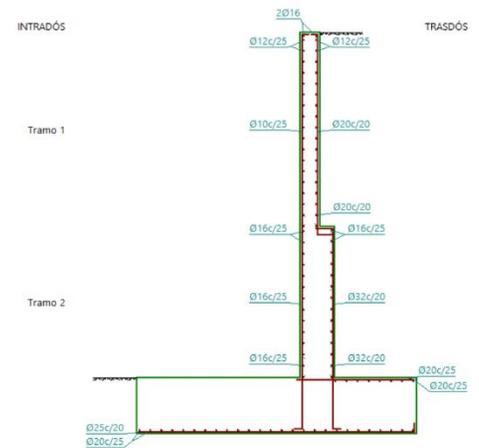
- Tipo de suelo SC

Figura 2-37 Diseño geométrico muro 8 m



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-38 Armadura muro 8 m

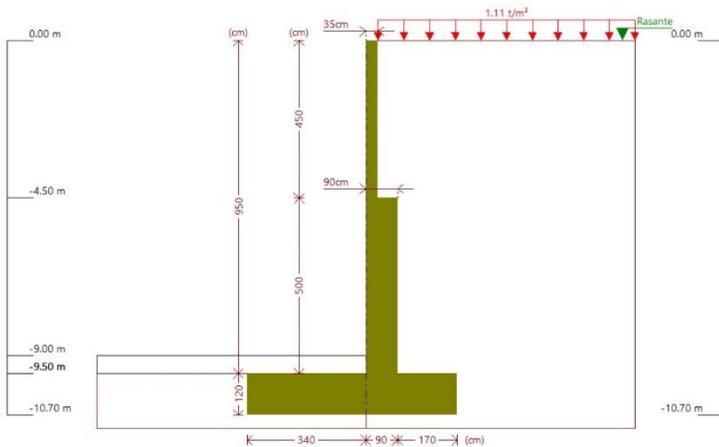


Fuente: elaboración propia, 2024

2.2.9 Diseño de muros tipo ménsula de 10 metros

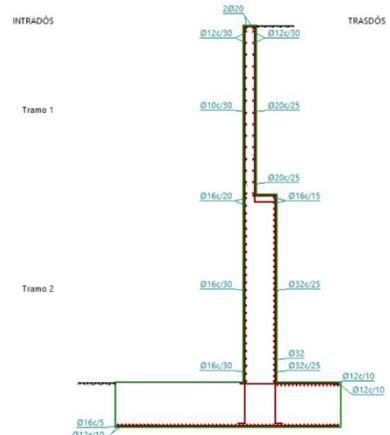
- Tipo de suelo CL

Figura 2-40 Diseño geométrico muro 10 m



Fuente: elaboración propia, 2024

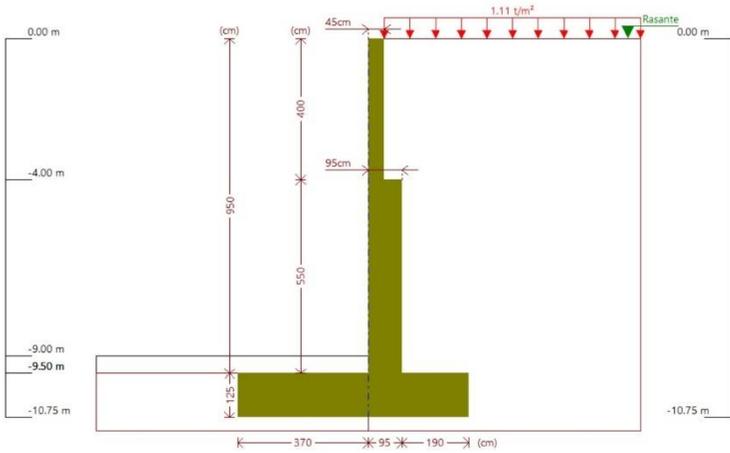
Figura 2-39 Armadura muro 10 m



Fuente: elaboración propia, 2024

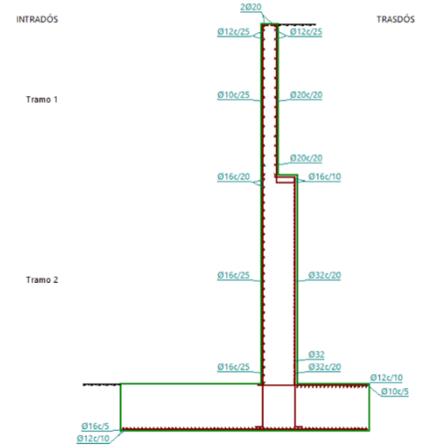
- Tipo de suelo GW

Figura 2-41 Diseño geométrico muro 10 m



Fuente: elaboración propia, 2024

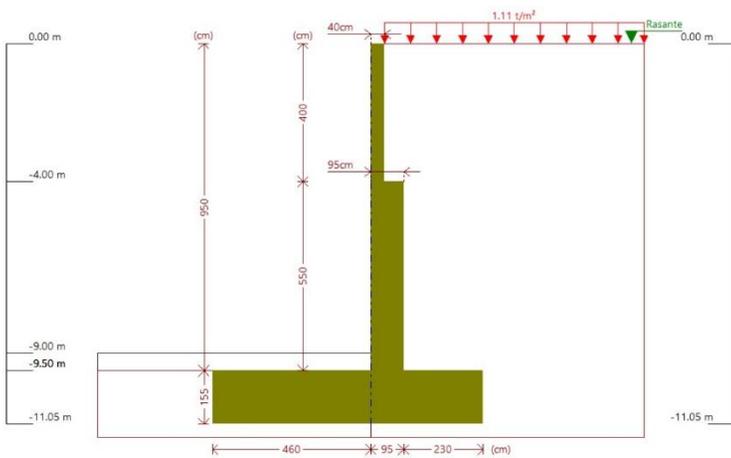
Figura 2-42 Armadura muro 10 m



Fuente: elaboración propia, 2024

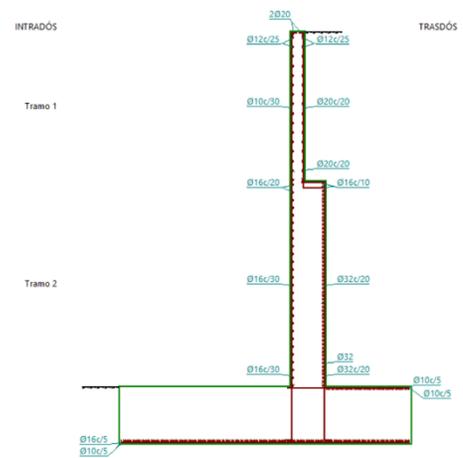
- Tipo de suelo SC

Figura 2-43 Diseño geométrico muro 10 m



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-44 Armadura muro 10 m



Fuente: elaboración propia, 2024

2.3 Diseño de muros de pantalla apuntalada

El diseño inicia a partir de la definición de los materiales, tipos de suelo y secciones de los diferentes parámetros, mediante el uso del software para arquitectura, ingeniería y construcción CYPE CAD 2024, enfocándose principalmente en el tipo de apoyo lateral que contenga, en este caso el diseño mediante de elementos constructivos como puntales.

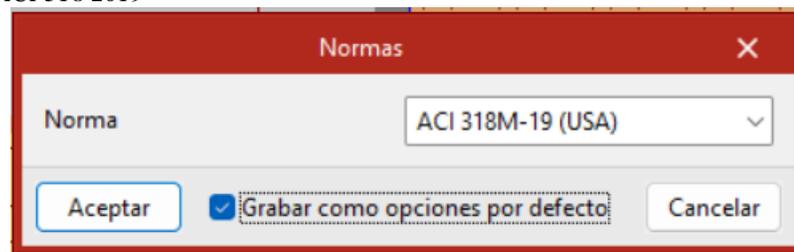
2.3.1 Determinación de las alturas útiles y tipos de suelos

Para el modelamiento de los muros se realizó en dos diferentes alturas útiles, sin considerar la sección de la pantalla enterrada, las cuales son 6 m, 8m y 10m.

2.3.2 Determinación de la normativa

Para iniciar el diseño se estableció la normativa en la que el programa se basara en este caso se estableció el ACI3 318M del año 2019 como se muestra en la Figura 2-45 Normativa ACI 318 2019.

Figura 2-45 Normativa ACI 318 2019

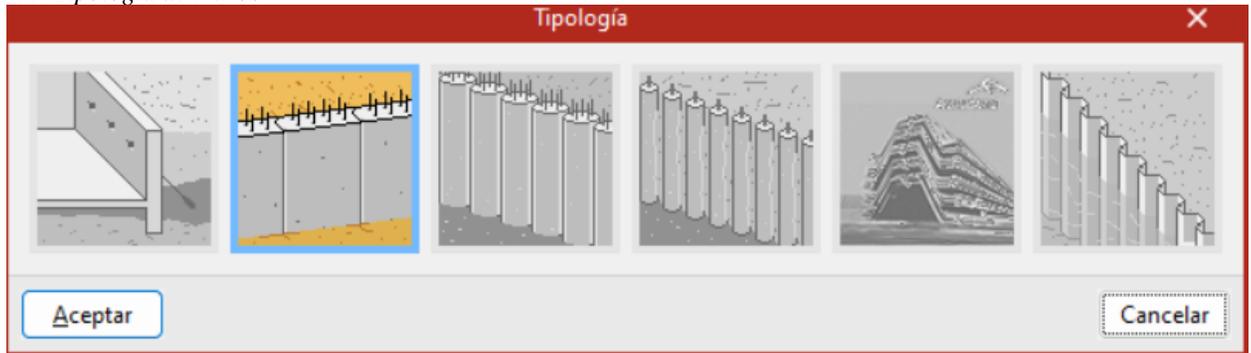


Fuente: elaboración propia, 2024

2.3.3 Definición de la tipología

Existen diferentes tipologías a diseñar en la Figura 2-46 se encuentran los tipos descritos a continuación: muro pantalla genérico, muro pantalla de hormigón armado, pantalla de pilotes de hormigón, cortina de micropilotes, tablestacas metálicas y tablestacas metálicas perfiles genéricos, sin embargo, se define el muro pantalla de hormigón armado.

Figura 2-46 Tipología de muros



Fuente: elaboración propia, 2024

2.3.4 Determinación de materiales

En la Figura 2-47 se define que la resistencia del hormigón es de 240 kg/cm² y el tipo de acero empleado para las varillas que componen la estructura interna del muro es de grado 60.

Así mismo se define el recubrimiento según la NEC es de 7.5cm y el tamaño del árido a usar de 20 mm.

Figura 2-47 Materiales



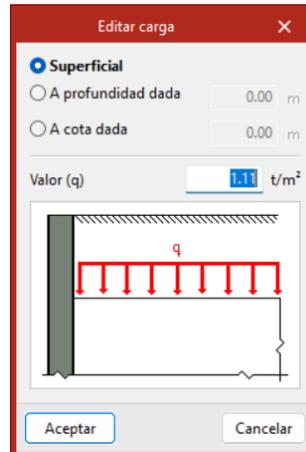
Fuente: elaboración propia, 2024

2.3.5 Sobrecarga de tráfico

Se define la sobrecarga de tráfico a usar en el diseño de los muros como se muestra en la

Figura 2-48:

Figura 2-48 Carga de tráfico



Fuente: elaboración propia, 2024

2.3.6 Factor de seguridad

Para el análisis de factor de seguridad se realizó la consideración sin sismo obteniendo los valores de la Figura 2-49:

Figura 2-49 Factor de seguridad sin sismo

Coefficientes de seguridad	Sin sismo	Con sismo
Equilibrio de momentos	3.00	2.00
Relación de empujes	1.60	1.05
Círculo de deslizamiento pésimo	1.50	1.05

Fuente: elaboración propia, 2024

2.3.7 Tipos de suelos

Se considero las mismas características de los tres tipos de suelo descritas en las secciones de los capítulos 2.1 y 2.2.

No obstante, se detalla los coeficientes de balasto usados para cada tipo de suelo.

2.3.8 Datos generales

Para el ingreso de los datos se especifica la altura del muro, espesor de la pantalla y la longitud del tramo de la pantalla que para los muros diseñados son los mismos, clasificándose según la altura y tipo de suelo.

1.1.1 Muro de pantalla apuntalada de 6m de altura útil

- Para el tipo de suelo CL se definió el siguiente módulo de balasto y las características del suelo de la Figura 2-50

Figura 2-50 Coeficientes del módulo de balasto CL

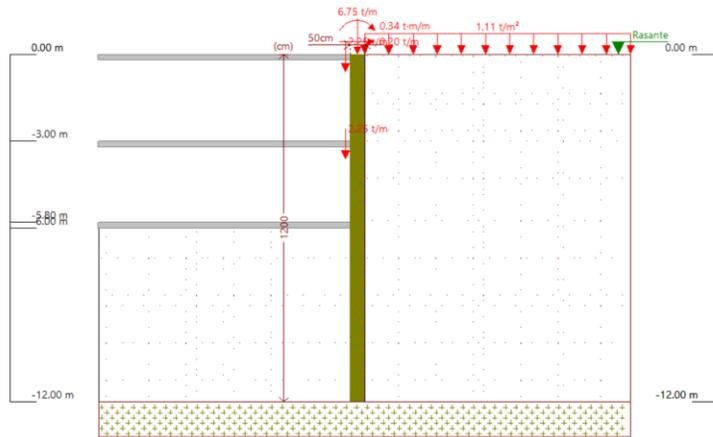


Descripción	CL
Densidad aparente (d)	1.90 kg/dm ³
Densidad sumergida (ds)	0.95 kg/dm ³
Ángulo rozamiento interno (f)	28.00 grados
Cohesión (c)	1.02 t/m ²
Módulo de balasto empuje activo (ma)	1977.3 t/m ³
Módulo de balasto empuje pasivo (mp)	1977.3 t/m ³
Gradiente módulo de balasto (g)	0.0 t/m ⁴

Fuente: elaboración propia, 2024

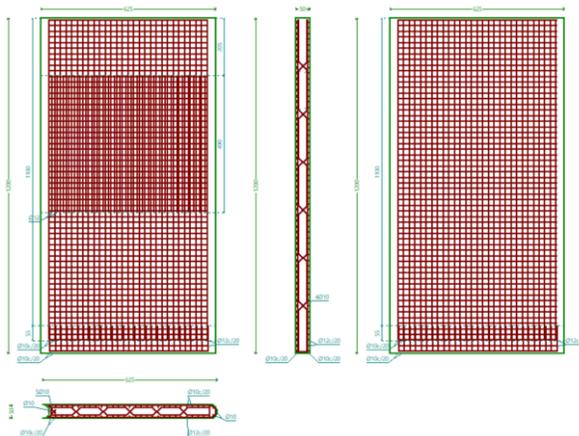
En la Figura 2-51 y Figura 2-52 se expone la estructura del muro:

Figura 2-51 Geometría muro 6m CL



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-52 Armadura muro 6m CL



Fuente: elaboración propia, 2024

- **Tipo de suelo GW**

Se obtiene el módulo de balasto correspondiente en la Figura 2-53:

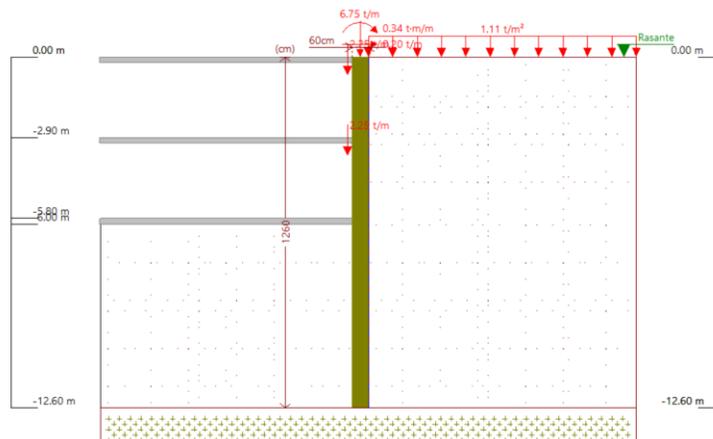
Figura 2-53 Coeficientes del módulo de balasto GW

Editar estrato	
Descripción	GW
Densidad aparente (d)	2.20 kg/dm ³
Densidad sumergida (ds)	1.10 kg/dm ³
Ángulo rozamiento interno (f)	30.00 grados
Cohesión (c)	0.00 t/m ²
Módulo de balasto empuje activo (ma)	3805.0 t/m ³
Módulo de balasto empuje pasivo (mp)	3805.0 t/m ³
Gradiente módulo de balasto (g)	0.0 t/m ⁴

Fuente: elaboración propia, 2024

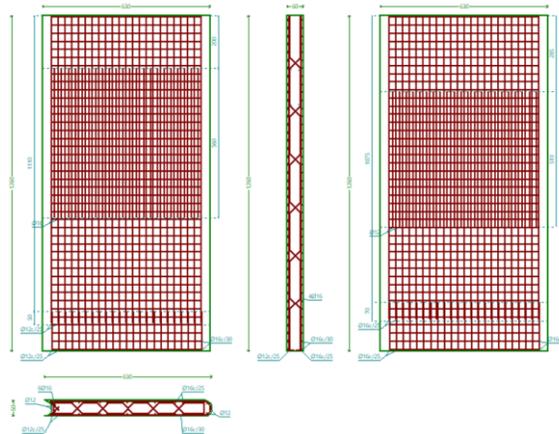
Así mismo, se expone en las Figura 2-54 y Figura 2-55 a continuación la estructura interna y externa de dicho muro:

Figura 2-54 Geometría muro 6 m GW



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-55 Armadura muro 6 m GW



Fuente: elaboración propia, 2024

- **Tipo de suelo SC**

Se obtiene el módulo de balasto correspondiente en la Figura 2-56:

Figura 2-56 Coeficiente de balasto SC

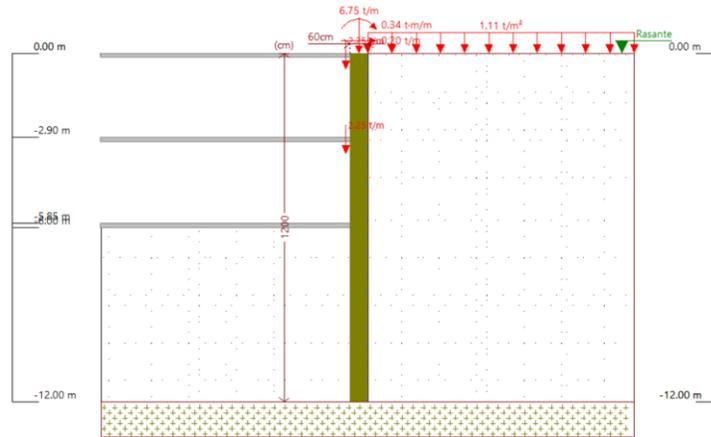
The image is a screenshot of a software window titled "Editar estrato". The window contains a table of soil properties for a soil type labeled "SC". The properties and their values are as follows:

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad aparente (d)	2.00	kg/dm ³
Densidad sumergida (ds)	1.00	kg/dm ³
Ángulo rozamiento interno (f)	30.00	grados
Cohesión (c)	0.50	t/m ²
Módulo de balasto empuje activo (ma)	343.9	t/m ³
Módulo de balasto empuje pasivo (mp)	343.9	t/m ³
Gradiente módulo de balasto (g)	0.0	t/m ⁴

Fuente: elaboración propia, 2024

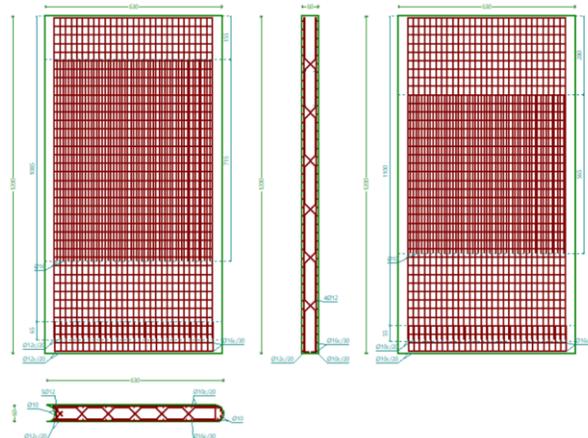
De igual forma se expone en la Figura 2-57 y Figura 2-58 a estructura interna y externa de dicho muro:

Figura 2-57 Geometría muro 6m SC



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-58 Armadura muro 6 m SC



Fuente: elaboración propia, 2024

2.3.9 Muro de pantalla apuntalada de 8 m de altura útil

- Para el tipo de suelo CL se definió el siguiente módulo de balasto y las características del suelo de la Figura 2-59:

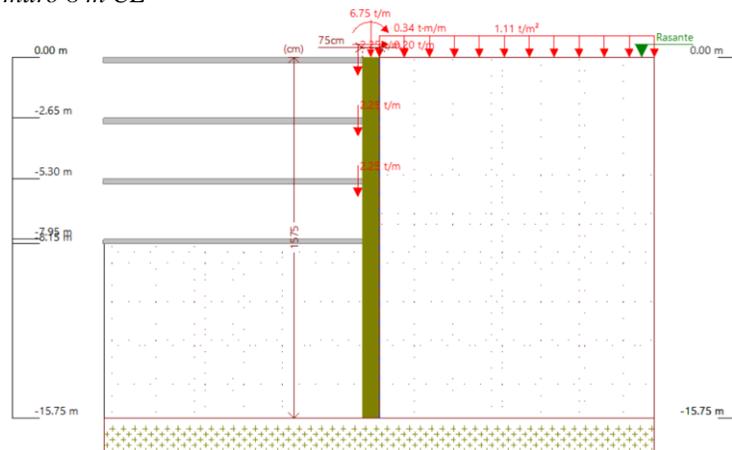
Figura 2-59 Coeficiente de balasto CL

Editar estrato	
Descripción	CL
Densidad aparente (d)	1.90 kg/dm ³
Densidad sumergida (ds)	0.95 kg/dm ³
Ángulo rozamiento interno (f)	28.00 grados
Cohesión (c)	1.02 t/m ²
Módulo de balasto empuje activo (ma)	2352.8 t/m ³
Módulo de balasto empuje pasivo (mp)	2352.8 t/m ³
Gradiente módulo de balasto (g)	0.0 t/m ⁴

Fuente: elaboración propia, 2024

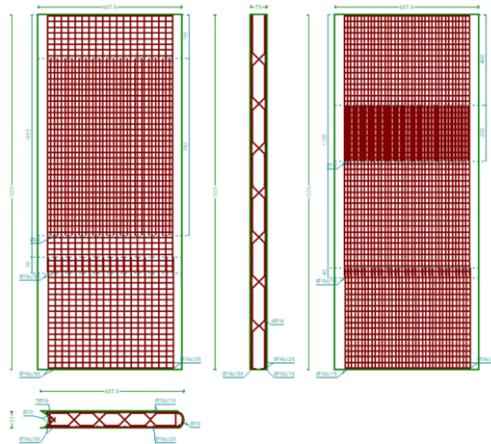
En la Figura 2-60 y Figura 2-61 se expone la estructura del muro:

Figura 2-60 Geometría muro 8 m CL



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-61 Armadura muro 8 m CL



Fuente: elaboración propia, 2024

- **Tipo de suelo GW**

Se obtiene el módulo de balasto correspondiente en la Figura 2-62:

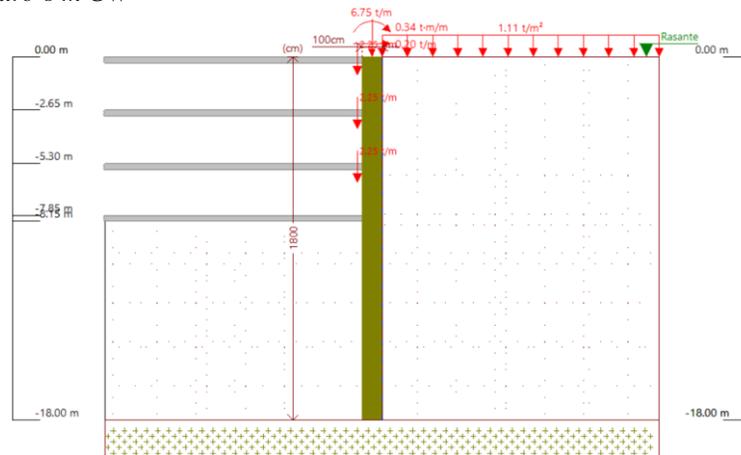
Figura 2-62 Coeficiente del módulo de balasto GW

Descripción	GW
Densidad aparente (d)	2.20 kg/dm ³
Densidad sumergida (ds)	1.10 kg/dm ³
Ángulo rozamiento interno (f)	30.00 grados
Cohesión (c)	0.00 t/m ²
Módulo de balasto empuje activo (ma)	4191.0 t/m ³
Módulo de balasto empuje pasivo (mp)	4191.0 t/m ³
Gradiente módulo de balasto (g)	0.0 t/m ⁴

Fuente: elaboración propia, 2024

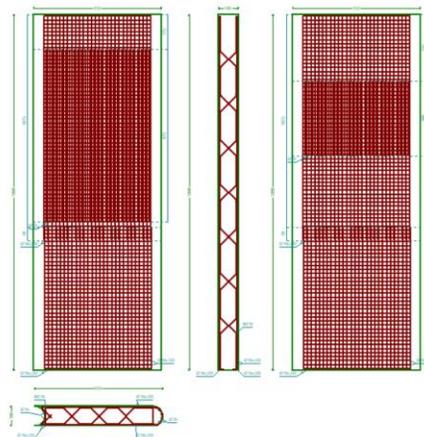
Así mismo, se expone en la Figura 2-63 y Figura 2-64 a continuación la estructura interna y externa de dicho muro:

Figura 2-63 Geometría muro 8 m GW



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-64 Armadura muro 8 m GW



Fuente: elaboración propia, 2024

- **Tipo de suelo SC**

Se obtiene el módulo de balasto correspondiente en la Figura 2-65:

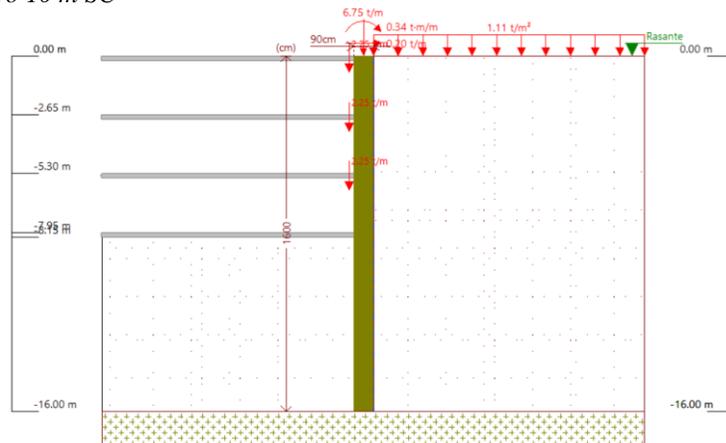
Figura 2-65 Coeficiente del módulo el balasto GW

Editar estrato		X	
Descripción	SC		
Densidad aparente (d)	2.00	kg/dm ³	←
Densidad sumergida (ds)	1.00	kg/dm ³	
Ángulo rozamiento interno (f)	30.00	grados	
Cohesión (c)	0.50	t/m ²	
Módulo de balasto empuje activo (ma)	395.2	t/m ³	↕
Módulo de balasto empuje pasivo (mp)	395.2	t/m ³	↕
Gradiente módulo de balasto (g)	0.0	t/m ⁴	

Fuente: elaboración propia, 2024

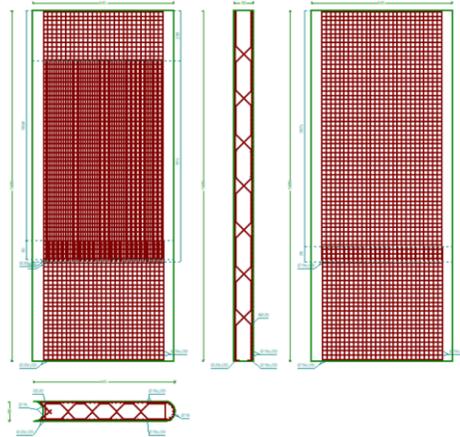
De igual forma se expone en las Figura 2-66 y Figura 2-67 la estructura interna y externa de dicho muro:

Figura 2-66 Geometría muro 10 m SC



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-67 Armadura muro 10 m SC



Fuente: elaboración propia, 2024

2.3.10 Muro de pantalla apuntalada de 10m de altura útil

- Para el tipo de suelo CL se definió el siguiente módulo de balasto y las características del suelo de la Figura 2-68:

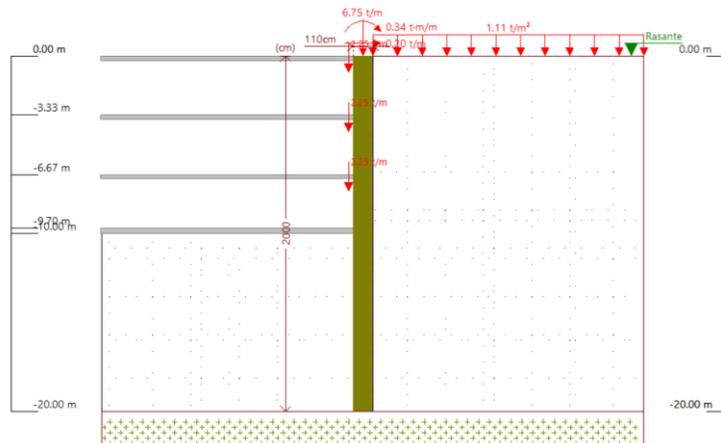
Figura 2-68 Coeficiente de balasto CL

Editar estrato	
Descripción	CL
Densidad aparente (d)	1.90 kg/dm ³
Densidad sumergida (ds)	0.95 kg/dm ³
Ángulo rozamiento interno (f)	28.00 grados
Cohesión (c)	1.02 t/m ²
Módulo de balasto empuje activo (ma)	2738.2 t/m ³
Módulo de balasto empuje pasivo (mp)	2738.2 t/m ³
Gradiente módulo de balasto (g)	0.0 t/m ⁴

Fuente: elaboración propia, 2024

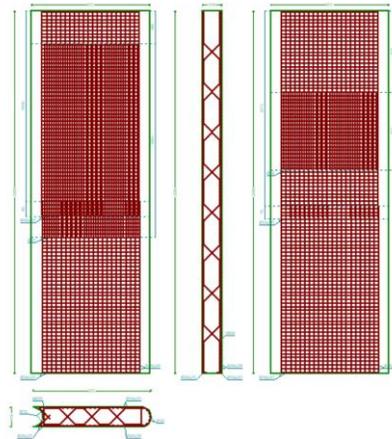
En las Figura 2-69 y Figura 2-70 se expone la estructura del muro:

Figura 2-69 Geometría muro 10 m CL



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-70 Armadura muro 10m



Fuente: elaboración propia, 2024

- **Tipo de suelo GW**

Se obtiene el módulo de balasto correspondiente en la Figura 2-71:

Figura 2-71 Coeficiente del módulo de balasto GW

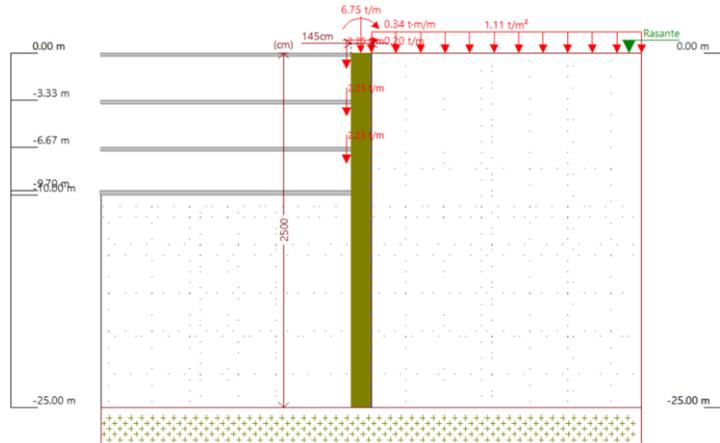
Descripción	GW
Densidad aparente (d)	2.20 kg/dm ³
Densidad sumergida (ds)	1.10 kg/dm ³
Ángulo rozamiento interno (f)	30.00 grados
Cohesión (c)	0.00 t/m ²
Módulo de balasto empuje activo (ma)	4622.7 t/m ³
Módulo de balasto empuje pasivo (mp)	4622.7 t/m ³
Gradiente módulo de balasto (g)	0.0 t/m4

Fuente: elaboración propia, 2024

Así mismo, se expone en la Figura 2-72 y

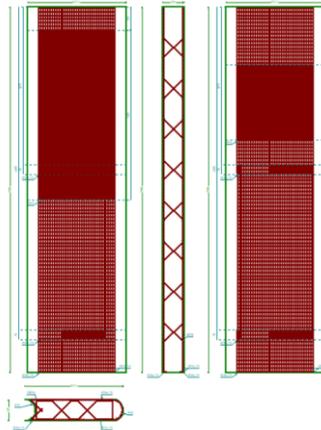
Figura 2-73 a continuación la estructura interna y externa de dicho muro:

Figura 2-72 Geometría muro 10 m GW



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-73 Armadura muro 10 m GW



Fuente: elaboración propia, 2024

- **Tipo de suelo SC**

Se obtiene el módulo de balasto correspondiente en la Figura 2-74:

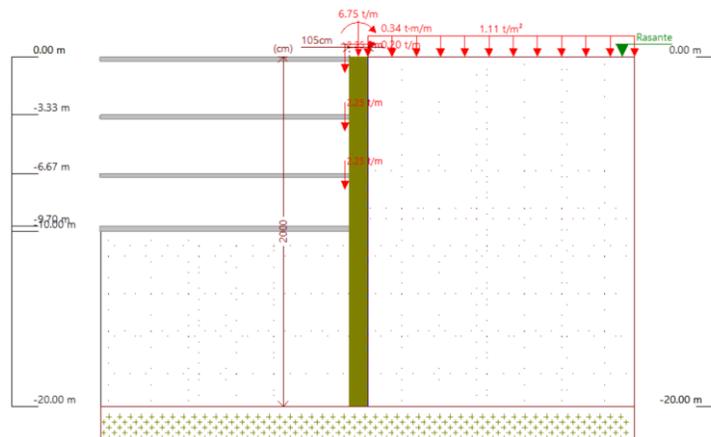
Figura 2-74 Coeficiente de módulo de balasto SC

Editar estrato	
Descripción	SC
Densidad aparente (d)	2.00 kg/dm ³
Densidad sumergida (ds)	1.00 kg/dm ³
Ángulo rozamiento interno (f)	30.00 grados
Cohesión (c)	0.50 t/m ²
Módulo de balasto empuje activo (ma)	449.3 t/m ²
Módulo de balasto empuje pasivo (mp)	449.3 t/m ²
Gradiente módulo de balasto (g)	0.0 t/m ⁴

Fuente: elaboración propia, 2024

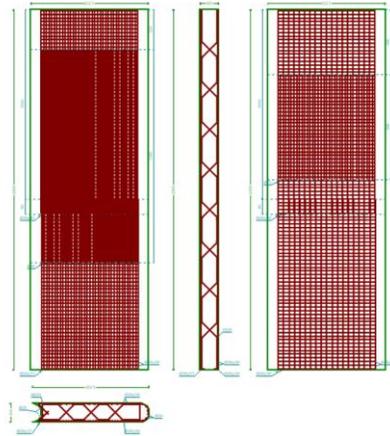
De igual forma se expone en la Figura 2-75 y Figura 2-76 la estructura interna y externa de dicho muro:

Figura 2-75 Geometría muro 10 m SC



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-76 Armadura muro 10 m SC



Fuente: elaboración propia, 2024

2.4 Diseño de muros de pantalla anclada

Este tipo de muro posee las mismas características, propiedades y especificaciones que el Diseño de muros de pantalla apuntalada. Sin embargo, este tipo de estructura consta de anclajes que se encuentran ubicados a un tercio de la base del estrado excavado, dependiendo del tipo de altura se distribuye la cantidad de anclajes.

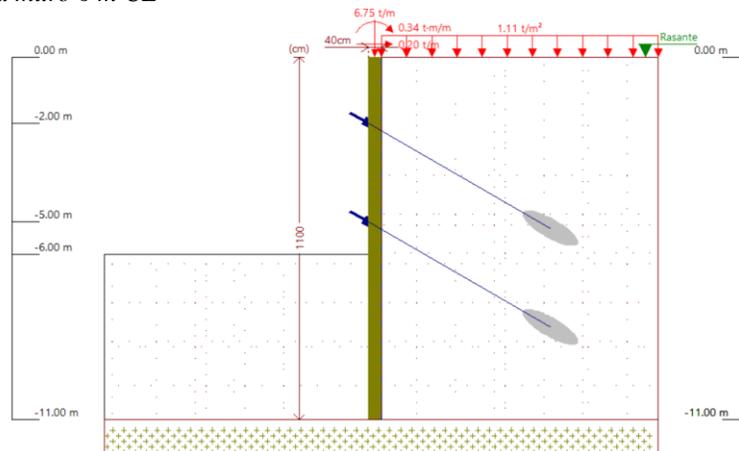
2.4.1 Muro de pantalla anclada de 6m de altura útil

De la misma manera se clasifico dependiendo del tipo de suelo por lo tanto se obtiene lo siguiente:

- **Tipo de suelo CL**

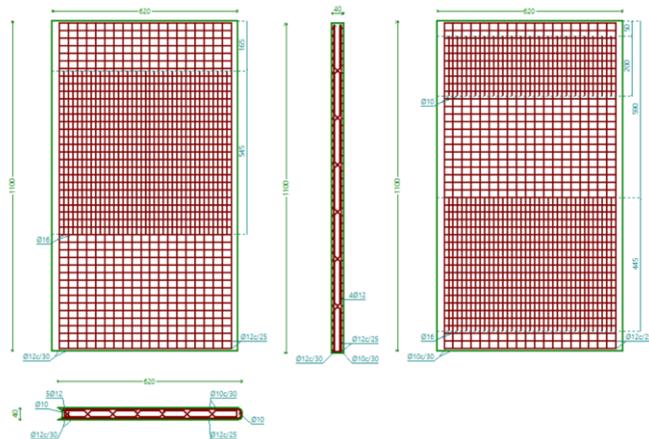
La estructura para este tipo de suelo se define en la Figura 2-77 y Figura 2-78:

Figura 2-77 Geometría muro 6 m CL



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-78 Armadura muro 6m CL

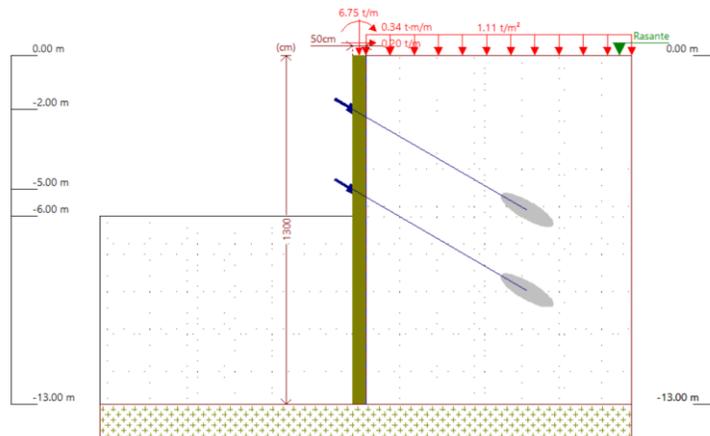


Fuente: elaboración propia, 2024

- **Tipo de suelo GW**

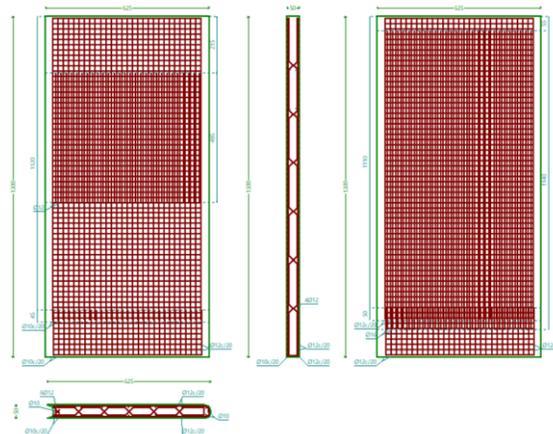
La estructura para este tipo de suelo se define en la Figura 2-79 y Figura 2-80:

Figura 2-79 Geometría muro 6 GW



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-80 Armadura muro 6 m GW

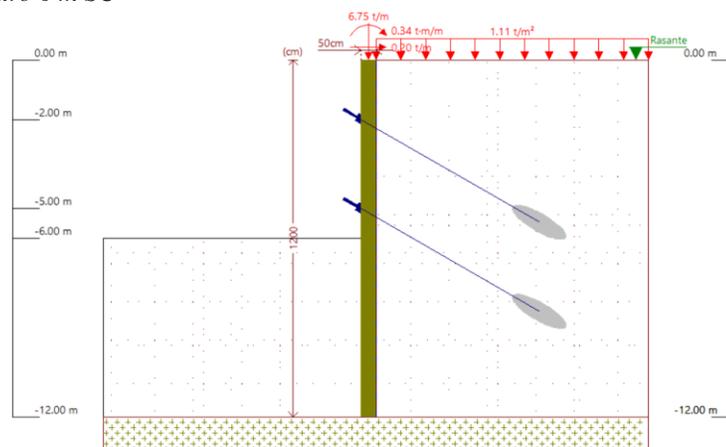


Fuente: elaboración propia, 2024

- **Tipo de suelo SC**

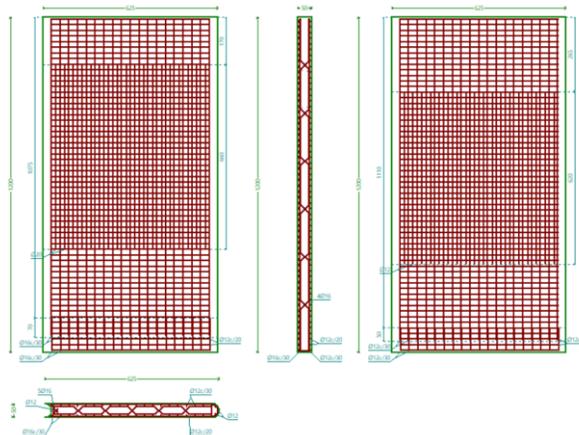
La estructura para este tipo de suelo se define en la Figura 2-81 y Figura 2-82:

Figura 2-81 Geometría muro 6 m SC



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-82 Armadura muro 6 m SC



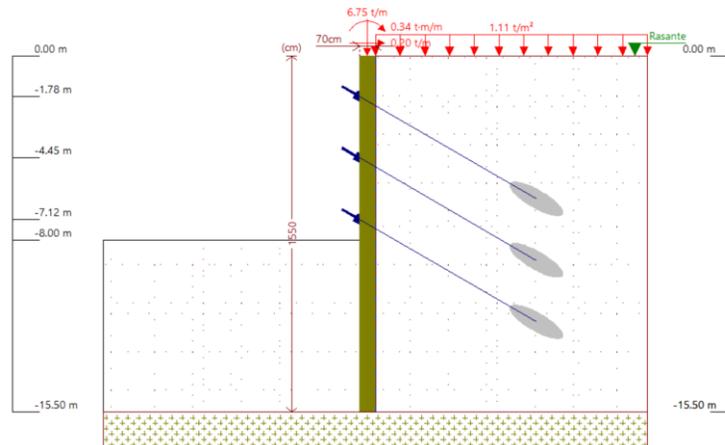
Fuente: elaboración propia, 2024

2.4.2 Muro de pantalla anclada 8m de altura útil

- Tipo de suelo CL

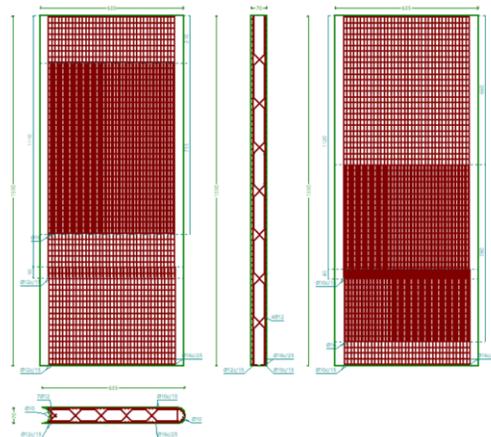
La estructura para este tipo de suelo se define en la Figura 2-83 y Figura 2-84:

Figura 2-83 Geometría muro 8 m CL



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-84 Armadura muro 8 m CL

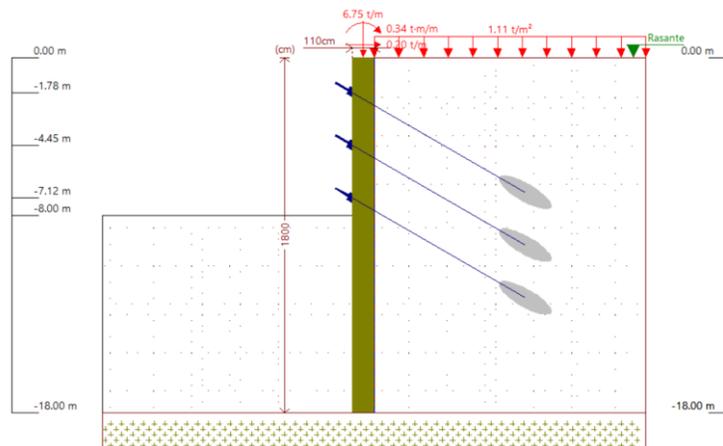


Fuente: elaboración propia, 2024

- **Tipo de suelo GW**

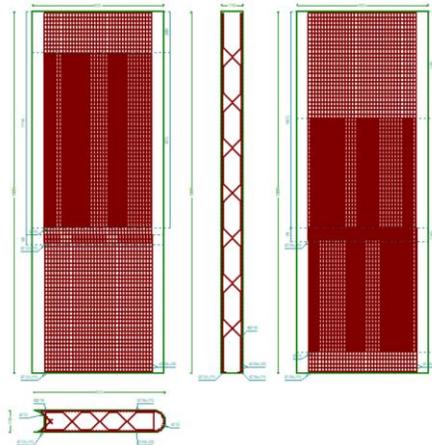
La estructura para este tipo de suelo se define en la Figura 2-85 y Figura 2-86:

Figura 2-85 Geometría muro 6 m GW



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-86 Armadura muro 8 m GW

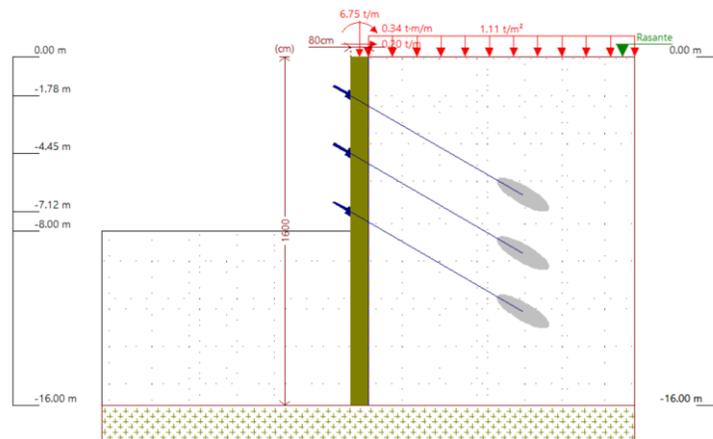


Fuente: elaboración propia, 2024

- **Tipo de suelo SC**

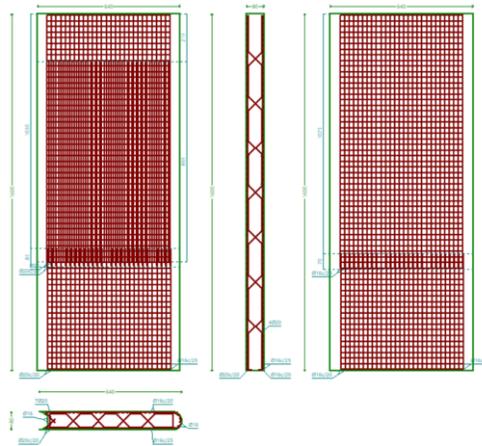
La estructura para este tipo de suelo se define en la Figura 2-87 y Figura 2-88:

Figura 2-87 Geometría muro 8 m SC



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-88 Armadura muro 8 cm SC



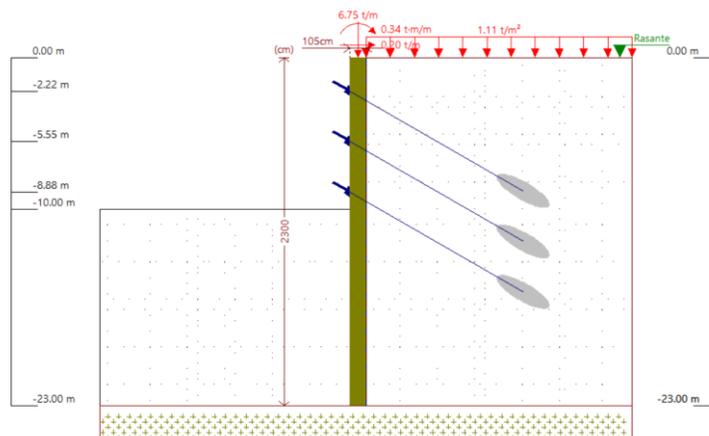
Fuente: elaboración propia, 2024

2.4.3 Muros de pantalla de 10m de altura útil

- **Tipo de suelo CL**

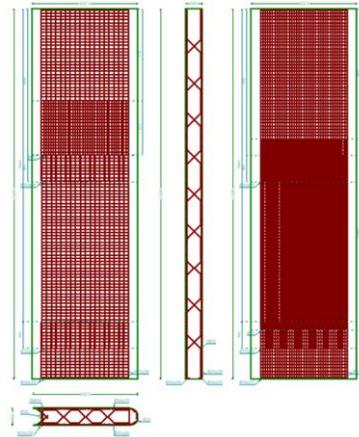
La estructura para este tipo de suelo se define en la Figura 2-89 y Figura 2-90:

Figura 2-89 Geometría muro 10 m CL



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-90 Armadura muro 8 m CL

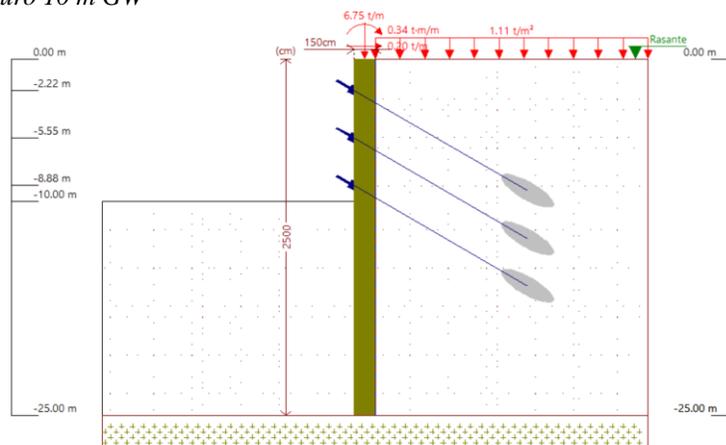


Fuente: elaboración propia, 2024

- **Tipo de suelo GW**

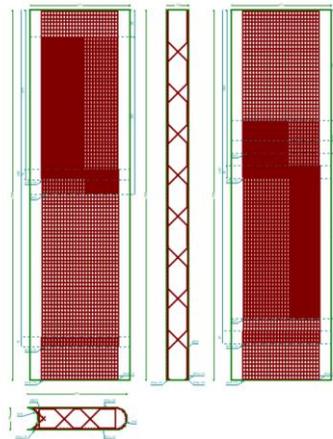
La estructura para este tipo de suelo se define en la Figura 2-91 y Figura 2-92:

Figura 2-91 Geometría muro 10 m GW



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-92 Armadura muro 10 m GW

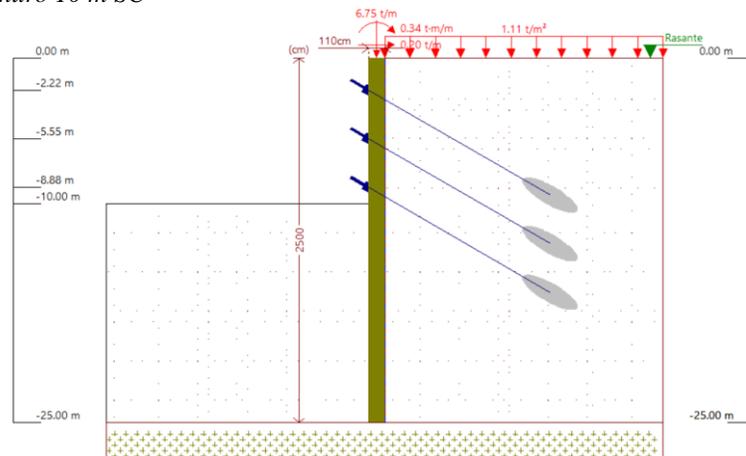


Fuente: elaboración propia, 2024

- **Tipo de suelo SC**

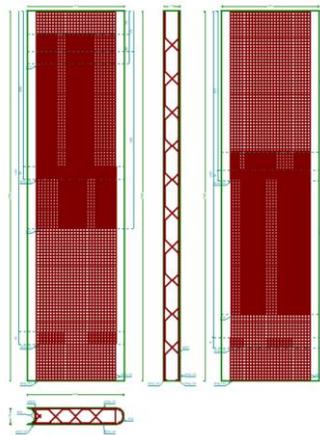
La estructura para este tipo de suelo se define en la Figura 2-93 y Figura 2-94:

Figura 2-93 Geometría muro 10 m SC



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 2-94 Armadura muro 10 m SC



Fuente: elaboración propia, 2024

3 Comparación técnica-económica e ingeniería de valor

3.1 Análisis técnico

Para realizar una comparación técnica entre las diferentes tecnologías se utilizaron tablas comparativas para cada una de ellas con los valores obtenidos de los factores de seguridad al volcamiento y deslizamiento, esfuerzos cortantes y flectores, así como desplazamientos en el caso de pantallas apuntaladas y pantallas ancladas. Cabe recalcar que los valores de los factores de seguridad para muros a gravedad se obtuvieron mediante el método de Rankine, a diferencia de los demás tipos de muros que fueron calculados por el método de Coulomb por el software de diseño previamente mencionado y comprobados mediante el método de Rankine. Una vez tabulados todos los coeficientes se realizaron gráficos usando Excel para su análisis. A continuación, se muestran dichos valores en las figuras correspondientes, para cada tipo de suelo, considerando que en el eje x el valor de 1 hace referencia al suelo de tipo CL, 2 al suelo GW y 3 al suelo SC.

3.1.1 Factor de seguridad al volcamiento

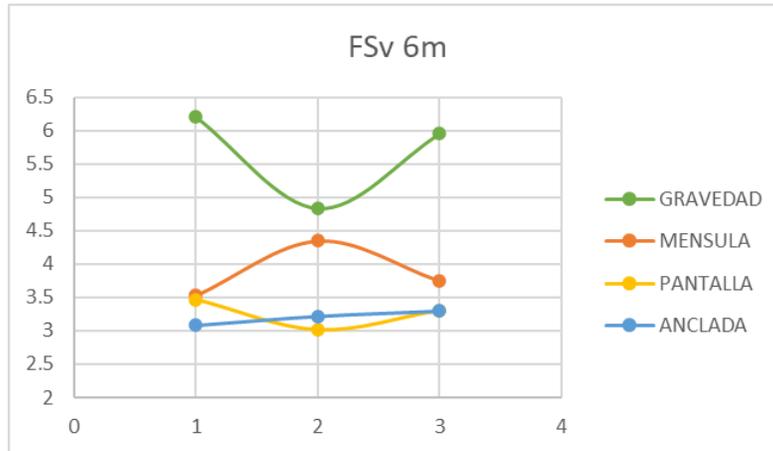
Debido a que para una altura de 6 metros se obtuvieron diseños de las 4 tecnologías, se optó por analizar dicha comparación, los factores de seguridad para muros de 2,4,6,8, 9.5 y 10 metros se encuentran dentro del apartado de anexos ya que mantienen la misma tendencia que la descrita a continuación.

- **Muros de 6 metros**

En la Figura 3-1 se puede observar que para los casos de muros a gravedad y de pantalla los valores más altos son los pertenecientes al tipo de suelo CL, sin embargo, para muros tipo ménsula el valor más alto se encuentra en los suelos de tipo GW, y por otro lado para los muros de pantalla anclada el valor más alto corresponde a tipos de suelo SC. A pesar de las variaciones,

todos los coeficientes son mayores a 3, cumpliendo así con lo estipulado por la normativa, empero a esto existe una diferencia entre los rangos de los factores de seguridad para cada tecnología, siendo los muros a gravedad el tipo con cifras más altas, seguido de muros tipo ménsula, pantalla y finalmente pantalla anclada.

Figura 3-1 Factor de seguridad al volcamiento muros 6 m



Fuente: elaboración propia, 2024

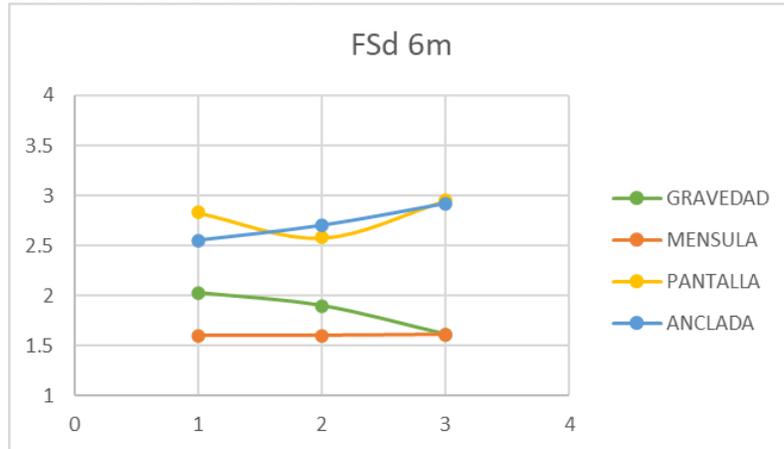
3.1.2 Factor de seguridad al deslizamiento

De la misma forma que para el análisis del factor de seguridad al volcamiento, se utilizan los valores para muros de una altura de 6 metros y las alturas faltantes se detallan en los anexos.

- **Muros de 6 metros**

Contrario a los resultados obtenidos para el volcamiento, en la Figura 3-2, los valores más altos mayoritariamente son para muros cimentados en suelos tipo SC, a excepción de muros a gravedad en los que el valor más alto es para el tipo de suelo CL. Por otra parte, el rango de coeficientes más alto es para muros de pantalla de ambos tipos, en segundo lugar, muros a gravedad y al final muros tipo ménsula, además para todos los casos las cifras son mayores a 1.6, es decir, cumplen con la normativa.

Figura 3-2 Factor de seguridad al deslizamiento muros 6 m



Fuente: elaboración propia, 2024

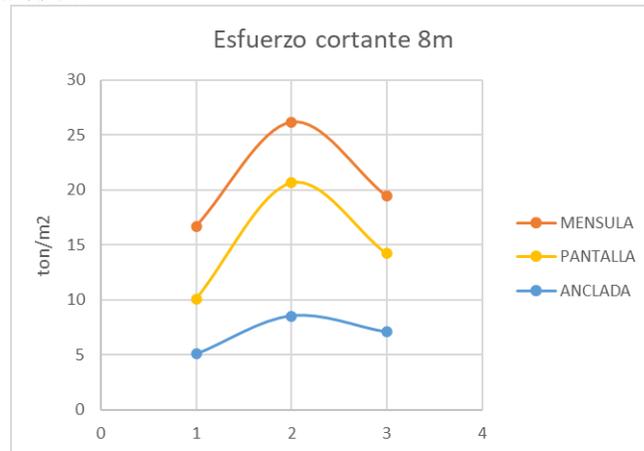
3.1.3 Esfuerzos cortantes

Para analizar los esfuerzos cortantes se tomaron en cuenta principalmente los resultados de los muros para una altura de 8 y 10 metros, colocando la altura de 6 metros como anexo debido a que la tendencia es similar a la de 8. De igual manera la simbología del eje x se mantiene como se mencionó en el análisis técnico.

- **Muros de 8 metros**

En la Figura 3-3 se muestra que existe una misma tendencia, los valores mayores de esfuerzos cortantes se dan en el muro tipo ménsula, por lo general en la base se encuentra los mayores esfuerzos cortantes, observando que para el tipo de suelo GW genera un mayor esfuerzo, por otro lado para los muros de pantalla apuntalada y anclada el esfuerzo cortante disminuye, en el caso de la pantalla anclada, a través de los anclajes se redistribuye los esfuerzos al suelo estable en donde se encuentran ubicadas, de igual forma ocurre con las apuntaladas distribuyen de mejor manera las fuerzas producidas para resistir el empuje del suelo.

Figura 3-3 Esfuerzo cortante muros 8m

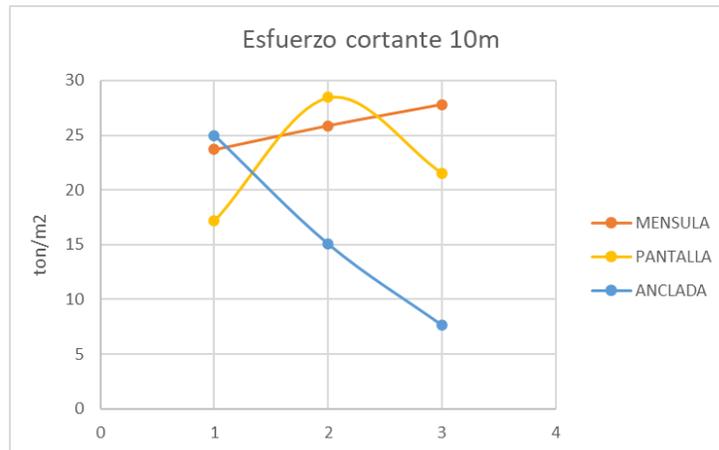


Fuente: elaboración propia, 2024

- **Muros de 9.5 y 10 metros**

Para este caso solamente se consideró la altura útil en los muros de pantalla debido que la altura total es mucho mayor a la analizada en resto de muros no se puede realizar una comparación con otras alturas. Sin embargo, en la Figura 3-4 se expone que tanto la pantalla anclada como la ménsula poseen esfuerzos cortantes muy similares en el suelo tipo CL, por el contrario, en el tipo de suelo GW el muro ménsula y el muro pantalla apuntalada poseen valores relativamente parecidos y altos, en cambio el muro de pantalla anclada en los tipos de suelos GW y SC el valor del cortante disminuye parcialmente.

Figura 3-4 Esfuerzo cortante muros de 10 m



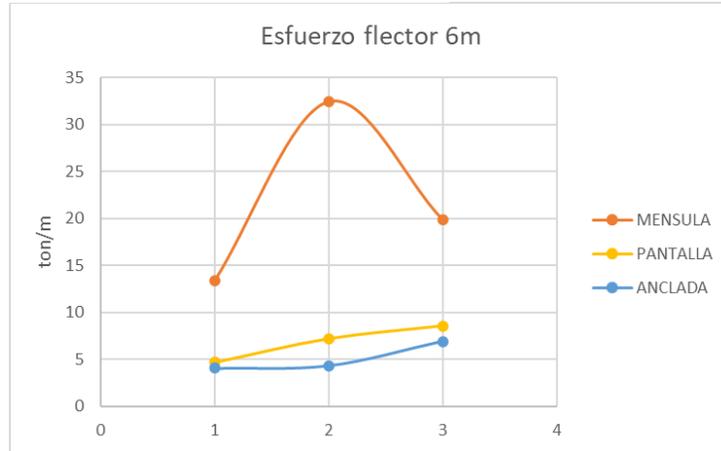
Fuente: elaboración propia, 2024

3.1.4 Esfuerzos flectores

Al igual que el cortante, el momento flector de un muro tipo ménsula es mayor que el resto de muros obteniendo así valores supremamente altos con relación a los muros pantalla. Por otro lado, los dos tipos de muros de pantalla anclada y apuntalada se asemejan en los valores de cada tipo de suelo, obteniendo así resultados de los momentos más bajos. Como se expone en la Figura 3-5 y Figura 3-6 los esfuerzos en las alturas de 6 y 8 m tienen tendencias similares.

- **Muros de 6 metros**

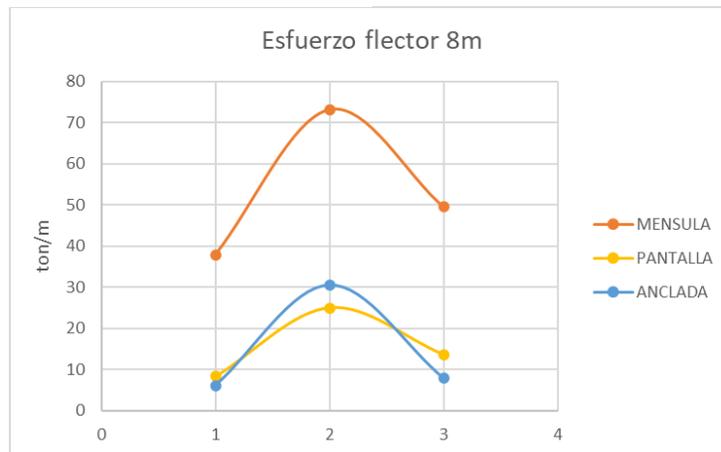
Figura 3-5 Momento flector de muros 6 m



Fuente: elaboración propia, 2024

- **Muros de 8 metros**

Figura 3-6 Momento flector muros 8 m



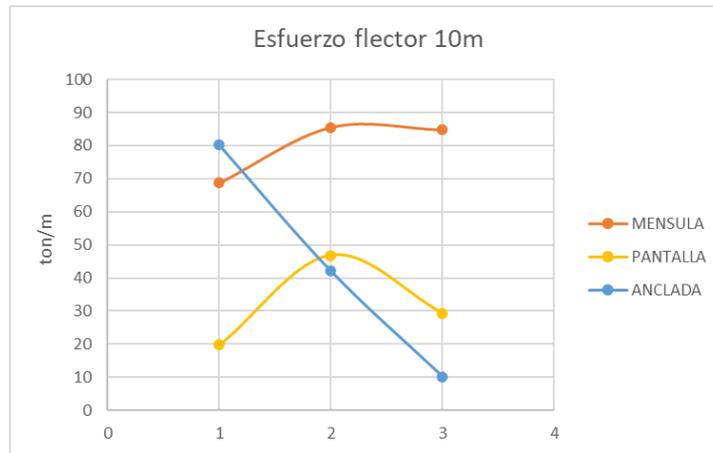
Fuente: elaboración propia, 2024

No obstante, para los momentos flectores de los muros de 9.5 y 10 de la Figura 3-7 existe una variación radical en especial en el muro de pantalla anclada, en el suelo CL el valor del

momento es mayor que el del muro tipo ménsula, y luego baja progresivamente siendo menor en ambos tipos de suelo, esto se debe al análisis solamente de la altura útil de la pantalla puesto que al ser pantallas para sótanos deben cumplir con la estabilidad de la normativa, haciendo así muros con una mayor excavación que el tipo ménsula.

- **Muros de 9.5 y 10 metros**

Figura 3-7 Momento flector muros 10 m



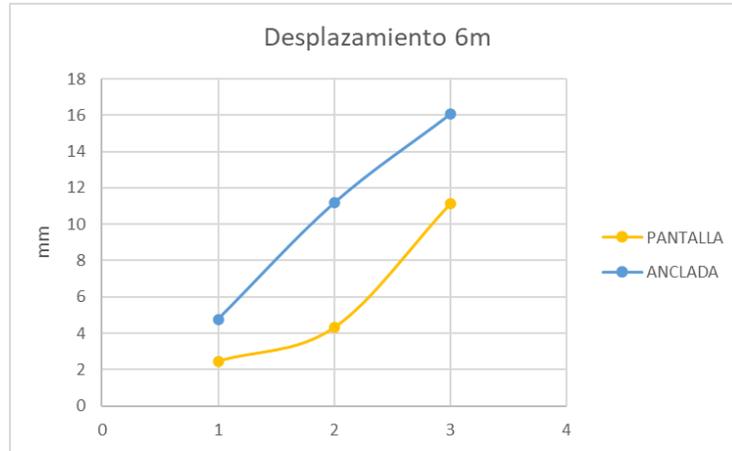
Fuente: elaboración propia, 2024

3.1.5 Desplazamiento

En la Figura 3-8 y Figura 3-9 se puede observar que los desplazamientos son mayores en la pantalla anclada que en la apuntalada en los tres tipos de suelos con la misma tendencia, los valores obtenidos para de cada muro no difieren en gran cantidad.

- **Muros de 6 metros**

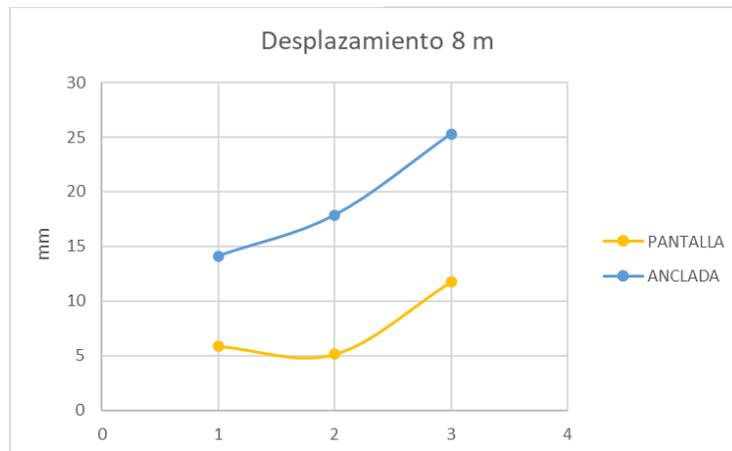
Figura 3-8 Desplazamientos muros 6 m



Fuente: elaboración propia, 2024

- **Muros de 8 metros**

Figura 3-9 Desplazamiento muros 8 m



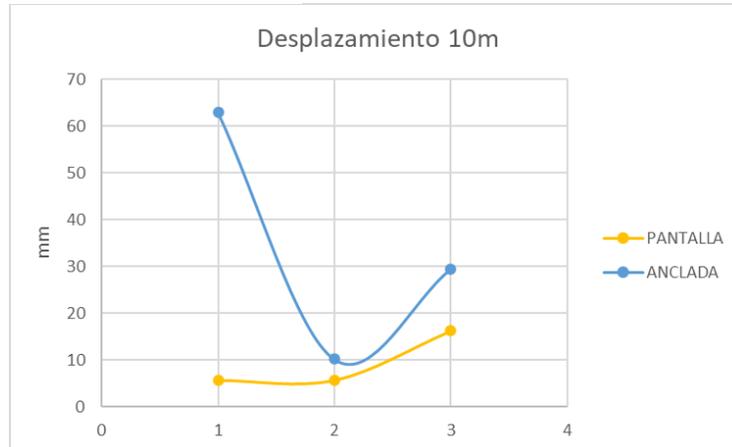
Fuente: elaboración propia, 2024

Por el contrario, en la Figura 3-10 el desplazamiento del muro de pantalla anclada en el tipo de suelo CL aumenta considerablemente con respecto al desplazamiento del muro de pantalla, por otro lado, en el tipo de suelo GW se puede apreciar que ambos muros generan desplazamientos

similares con valores cercanos. Así mismo en el tipo de suelo SC poseen valores de desplazamientos no iguales, pero si poseen una mayor diferencia que en el tipo GW.

- **Muros de 10 metros**

Figura 3-10 Desplazamientos muros 10 m



Fuente: elaboración propia, 2024

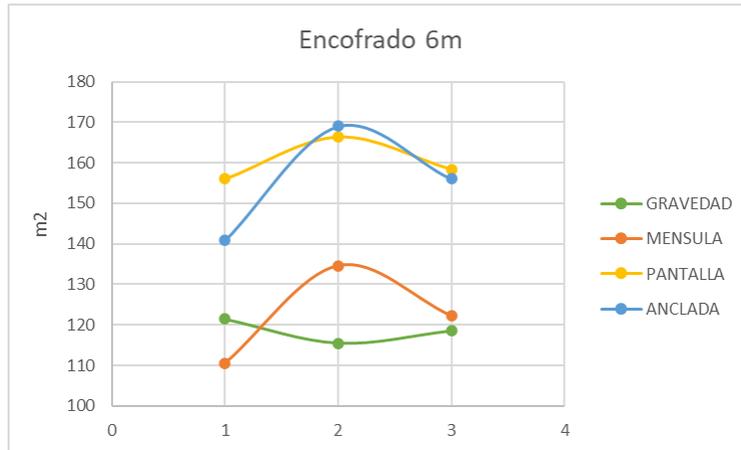
3.2 Análisis de consumo de materiales

Dentro del análisis de consumo de materiales se evaluarán las cantidades obtenidas de acero, encofrado y hormigón tanto simple como ciclópeo para cada altura y tipo de suelo.

3.2.1 Encofrado

La tendencia para muros de 4,8 y 10 metros se mantiene igual que la descrita para muros de 6 metros como se puede verificar dentro de los anexos, por lo que a continuación, en la Figura 3-11 se muestran las cantidades de encofrado en metros cuadrados para cada tecnología. De acuerdo a la figura previamente mencionada, la mayor cantidad de encofrado se ocupa para la construcción de muros en suelos tipo GW, exceptuando los muros a gravedad cuya mayor cantidad se consume en suelos tipo CL. Por otra parte, las tecnologías con rangos más altos de consumo son las pantallas, tanto ancladas como apuntaladas.

Figura 3-11 Encofrado muros 6 m

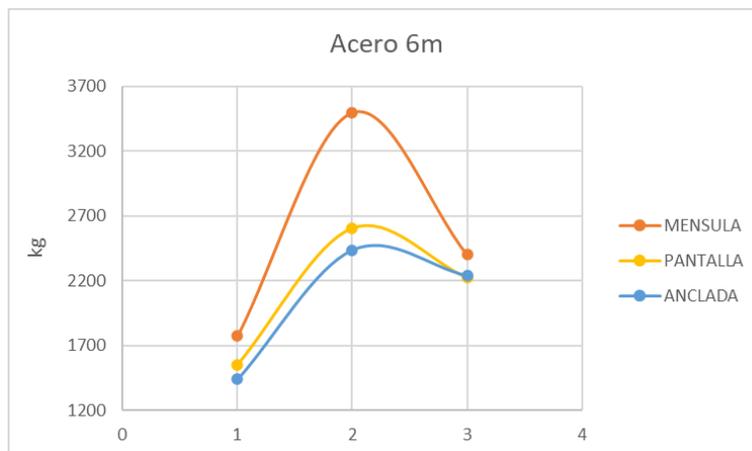


Fuente: elaboración propia, 2024

3.2.2 Acero

Para el análisis de consumo de acero se obtuvieron las cantidades para cada tecnología en kilogramos, representadas en el eje “y” como se muestra en la Figura 3-12, de igual forma, se puede observar que para muros de 6 metros la mayor cantidad de acero se utiliza en muros construidos en suelos de tipo GW y la tecnología con mayor requerimiento de acero es la de muros ménsula.

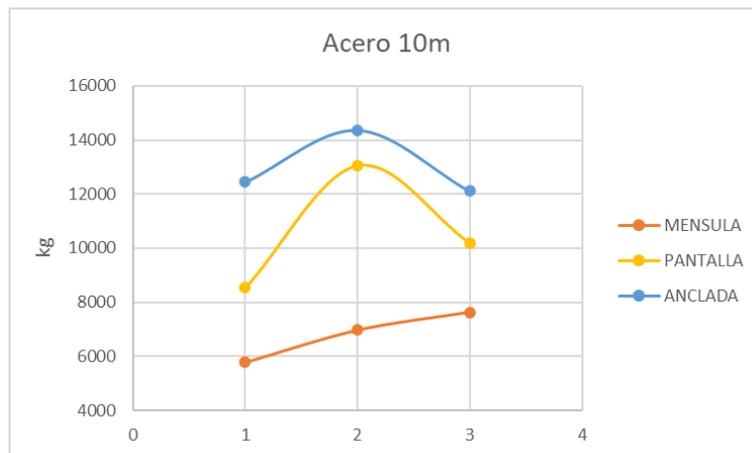
Figura 3-12 Consumo de acero muros 6 m



Fuente: elaboración propia, 2024

Por otra parte, en muros de 8 metros, especificados en la sección de anexos, 9.5 y 10 metros representados en la Figura 3-13, se puede observar que la tendencia de consumo de acero se mantiene en cuanto al tipo de suelo, sin embargo, la cantidad requerida aumenta significativamente para muros de pantalla anclada.

Figura 3-13 Consumo de acero muros 10 m

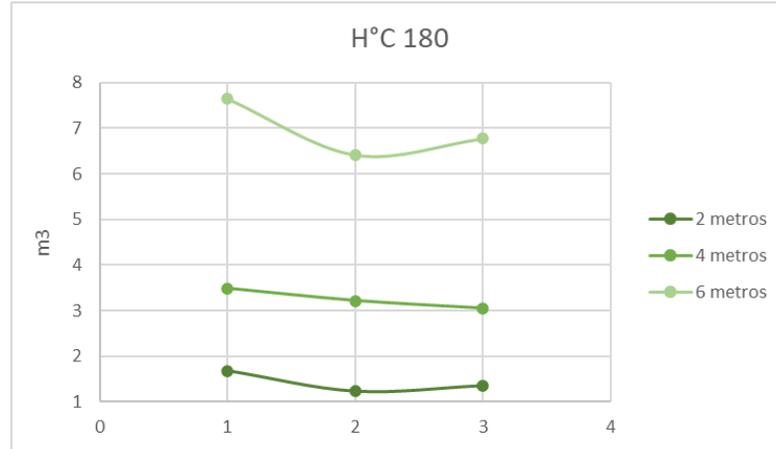


Fuente: elaboración propia, 2024

3.2.3 Hormigón ciclópeo

El hormigón ciclópeo de $f'c$ de 180 kg/cm² utilizado para muros a gravedad se cuantificó en metros cúbicos para cada altura diseñada como se muestra en la Figura 3-14, dando como resultado un consumo del material similar para todos los casos con respecto a los distintos tipos de suelo, siendo el de tipo CL el de mayor requerimiento, seguido del tipo de suelo SC y finalmente GW.

Figura 3-14 Consumo hormigón muros gravedad



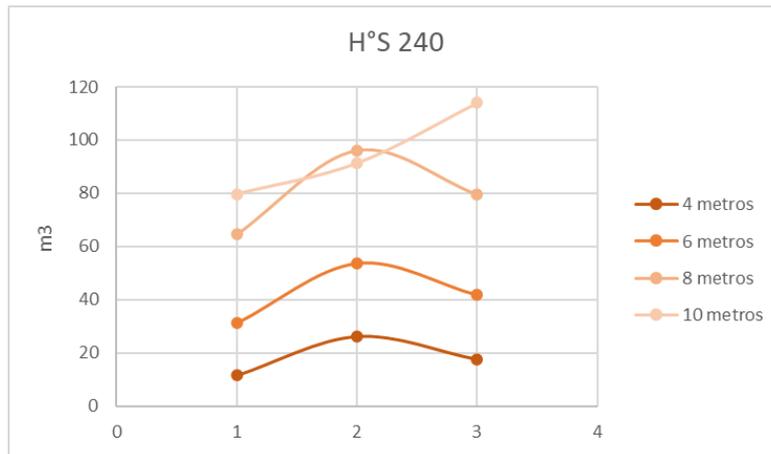
Fuente: elaboración propia, 2024

3.2.4 Hormigón simple

- **Muros tipo ménsula**

Para el diseño de muros tipo ménsula se utilizó hormigón simple de $f'c$ de 240 kg/cm² y se comparó su consumo en metros cúbicos para las diferentes alturas en cada tipo de suelo. En la Figura 3-15 se puede observar una clara tendencia de consumo para muros de 4,6 y 8 metros, sin embargo, para muros de 10 metros el mayor consumo se produce en suelos de tipo SC, contrario a los demás casos en los que el mayor consumo se da en suelos de tipo GW.

Figura 3-15 Consumo Hormigón muros ménsula

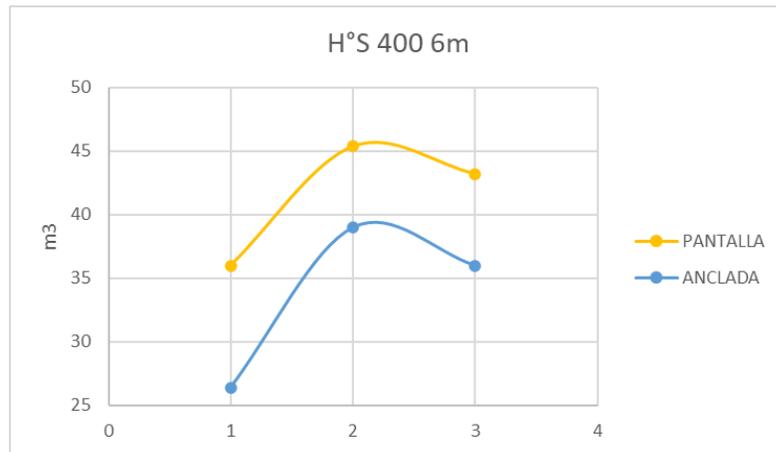


Fuente: elaboración propia, 2024

- **Muros de pantalla y pantalla anclada**

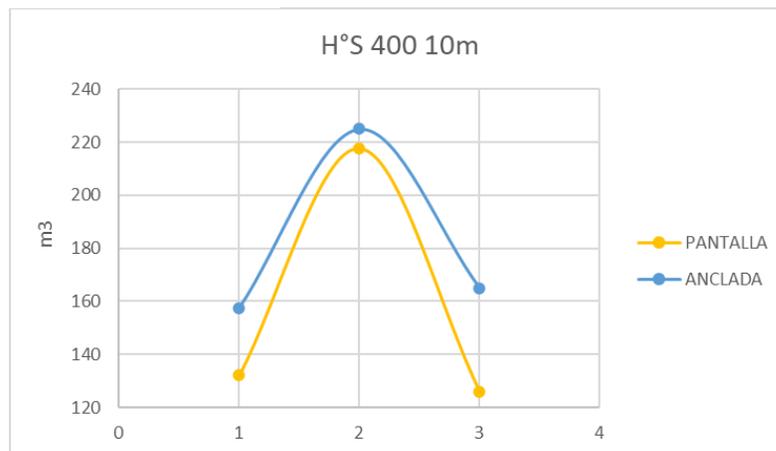
El diseño de muros de pantalla de ambos tipos se llevó a cabo con la utilización de hormigón simple de $f'c$ de 400 kg/cm² calculado en metros cúbicos. En la Figura 3-16 se encuentran graficadas las curvas para muros de 6 m, en los que el consumo de material es mayor para pantallas sin anclaje, y por otro lado en la Figura 3-17 se obtienen las curvas para muros de 10 metros, cuya tendencia es similar a la de muros de 8 metros, en las que se aprecia que el consumo de hormigón es superior para pantallas con anclajes.

Figura 3-16 Consumo hormigón muro 6 m



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 3-17 Consumo hormigón 10 m



Fuente: elaboración propia, 2024

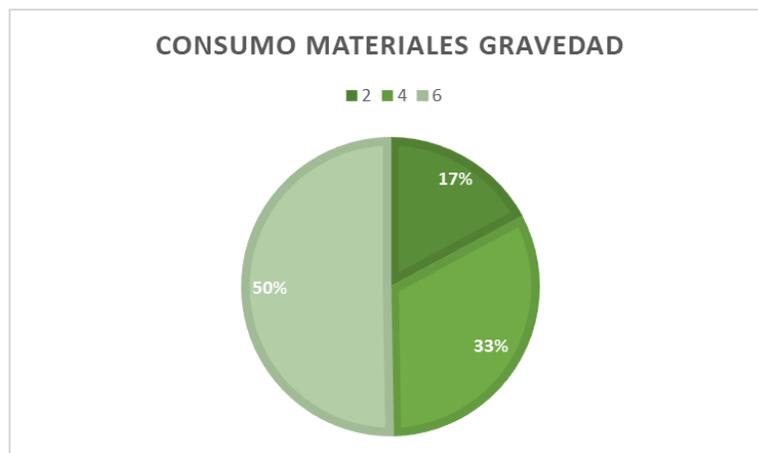
3.2.5 Consumo de materiales

El porcentaje de consumo de materiales para cada tecnología dependiendo de su altura se obtuvo a partir de los valores correspondientes al consumo de hormigón para cada uno, ya que en función de las cantidades de hormigón se encuentra el volumen de los demás materiales, fraccionando dichas cifras entre la sumatoria respectiva.

- **Muros a gravedad**

De acuerdo a la Figura 3-18, existe un aumento constante del 16-17% conforme incrementa la altura del muro.

Figura 3-18 Consumos materiales muro de gravedad altura 2,4,6 m

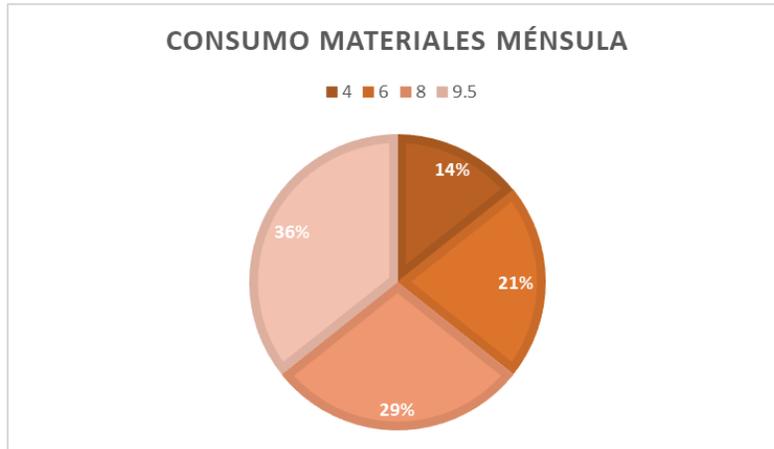


Fuente: elaboración propia, 2024

- **Muros tipo ménsula**

En la Figura 3-19 el aumento de porcentaje se encuentra entre el 7 y 8% correspondientemente al incremento de las alturas.

Figura 3-19 Consumo materiales muro ménsula 4,6,8,9.5 m

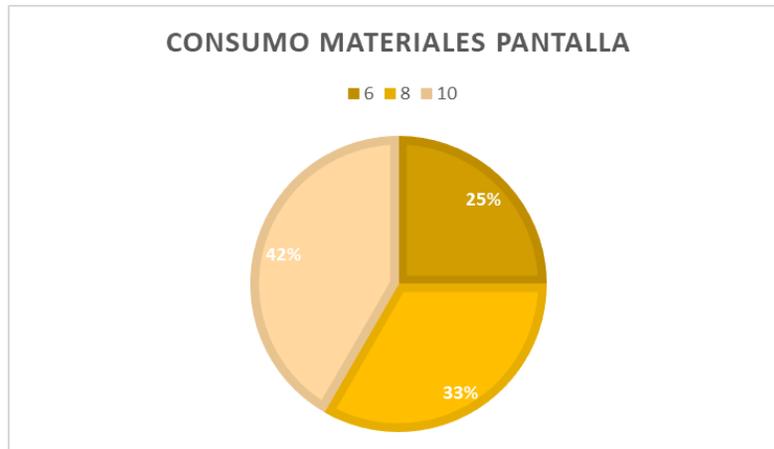


Fuente: elaboración propia, 2024

- **Muros de pantalla**

Para los muros de pantalla se puede observar en la Figura 3-20 que el incremento en porcentajes varía entre el 8 y 9% para cada aumento de altura.

Figura 3-20 Consumo materiales pantalla muros 6,8,10 m

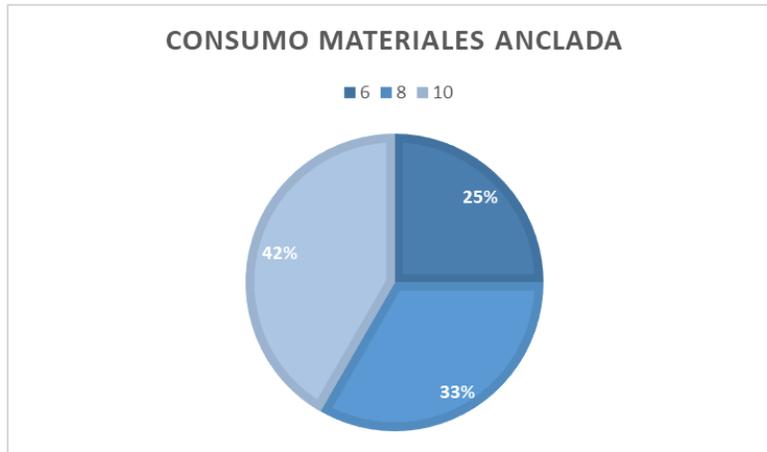


Fuente: elaboración propia, 2024

- **Muros de pantalla anclada**

En la Figura 3-21 se puede apreciar que el incremento de consumo de materiales es el mismo que para las pantallas, resultando en un rango de entre 8 y 9 % para cada altura.

Figura 3-21 Consumo materiales muros anclados 6,8,10 m



Fuente: elaboración propia, 2024

3.3 Análisis económico

3.3.1 Presupuesto total

Para el análisis de presupuestos se utilizaron los rubros y precios especificados en la Tabla 3-1 obtenidos del portal de compras públicas del Ecuador y de análisis de precios unitarios (APUS) proporcionados por expertos en el tema.

Tabla 3-1 Presupuesto total de los muros

No.	Rubro	Unidad	Precio unitario
1	Excavación mecánica	m3	\$ 4.30
2	Excavación manual (perfilado)	m3	\$ 19.12
3	Relleno compactado con mejoramiento	m3	\$ 26.45
4	Encofrado	m2	\$ 17.50
5	Hormigón ciclópeo 180	m3	\$ 110.92
6	Hormigón simple 240	m3	\$ 142.56
7	Hormigón simple 400	m3	\$ 181.37
8	Acero de refuerzo de varios diámetros	kg	\$ 2.31
9	Suministro y colocación de resina epóxica para anclaje estructural	m3	\$ 115,000.00
10	Suministro e instalación de tensor/varilla Ø=25 mm	m	\$ 11.17

Fuente: elaboración propia, 2024

Una vez calculadas las cantidades de obra para cada muro diseñado, anexadas posteriormente en la sección correspondiente, se calcularon los precios totales respectivamente, obteniendo las cifras que se muestran a continuación en la Tabla 3-2:

Tabla 3-2 Presupuesto según le tipo de suelo, muro y altura

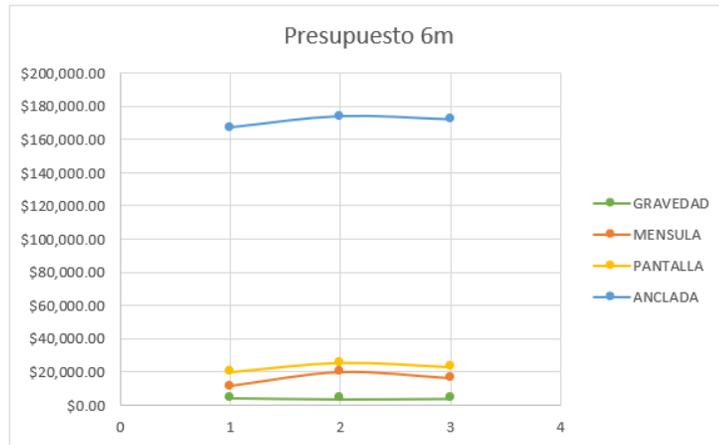
Altura (m)	Tipo de suelo		
	CL	GW	SC
GRAVEDAD			
2	\$1,135.74	\$1,023.09	\$1,074.32
4	\$2,463.45	\$2,344.77	\$2,309.50
6	\$4,406.63	\$4,067.76	\$4,220.63
MÉNSULA			
4	\$4,788.82	\$9,255.93	\$4,387.54
6	\$11,531.10	\$20,059.62	\$16,249.90
8	\$21,938.63	\$33,209.52	\$27,573.04
9.5	\$30,638.27	\$35,257.33	\$40,638.37
PANTALLA			
6	\$20,174.23	\$25,439.69	\$23,008.48
8	\$36,872.16	\$54,242.92	\$45,570.38
10	\$69,636.40	\$110,760.30	\$71,169.79
ANCLADA			
6	\$167,203.01	\$174,039.46	\$172,042.18
8	\$316,516.67	\$339,952.21	\$323,551.35
10	\$492,850.08	\$509,385.16	\$493,229.72

Fuente: elaboración propia, 2024

3.3.2 Comparación económica

La tendencia para todas las alturas comparables es semejante a la ilustrada en la Figura 3-22 para una altura de 6 metros, donde se puede observar que el presupuesto para un muro de pantalla anclada es notablemente más alto que para las demás tecnologías, sin embargo es importante mencionar que los presupuestos para pantalla y ménsula son cercanos para la altura mencionada, contrario a lo que ocurre en una altura de 8 metros, que se puede apreciar dentro de los anexos, donde los precios de una pantalla superan a los de una ménsula.

Figura 3-22 Presupuesto muros 6 m

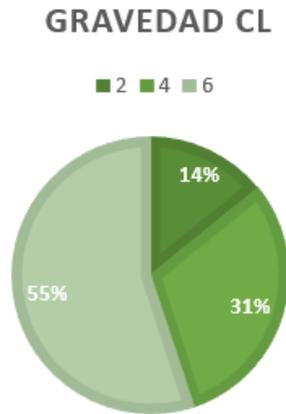


Fuente: elaboración propia, 2024

- **Muros a gravedad**

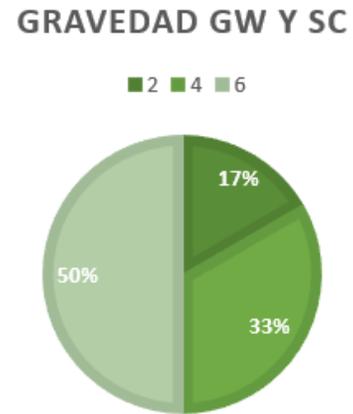
En cuanto al análisis de muros a gravedad existe una variación dentro de los presupuestos entre los tipos de suelo como se muestra en la Figura 3-23 donde se ilustran los resultados para el tipo de suelo CL y la Figura 3-24 que contiene los resultados de los suelos GW Y SC. De la primera figura se concluye que existe un aumento del 10% entre los incrementos respectivos de precio para las alturas diseñadas, por otra parte, en la segunda figura se observa que el aumento se mantiene entre el 16 y 17% para los incrementos de alturas.

Figura 3-23 Porcentaje de precios muros de gravedad CL



Fuente: elaboración propia, 2024

Figura 3-24 Porcentaje de precios muros gravedad GW y SC

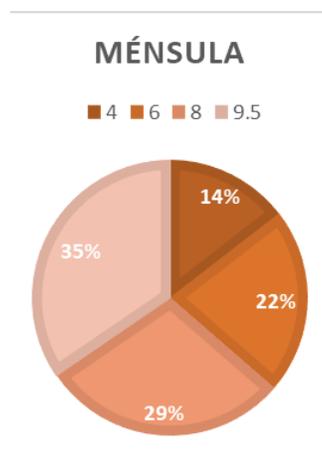


Fuente: elaboración propia, 2024

- **Muros tipo ménsula**

En la Figura 3-25 se muestran los porcentajes correspondientes al incremento de presupuestos en función del aumento en la altura del muro, obteniendo una variación relativamente constante entre el 6 y 8 % para cada una de las alturas propuestas.

Figura 3-25 Porcentaje de precios muros ménsula

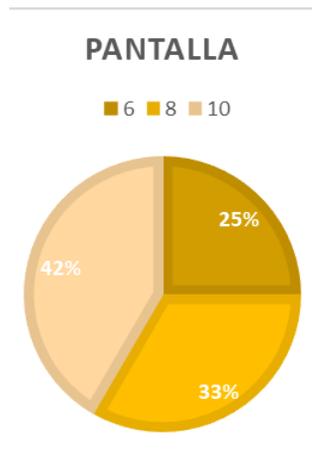


Fuente: elaboración propia, 2024

- **Muros pantalla**

Los resultados obtenidos para muros de pantalla se encuentran representados gráficamente en la Figura 3-26, donde se puede apreciar que el incremento de presupuestos se mantiene en un rango de 8 y 9% para el incremento en las alturas, respectivamente.

Figura 3-26 Porcentajes de precios muro pantalla apuntalada

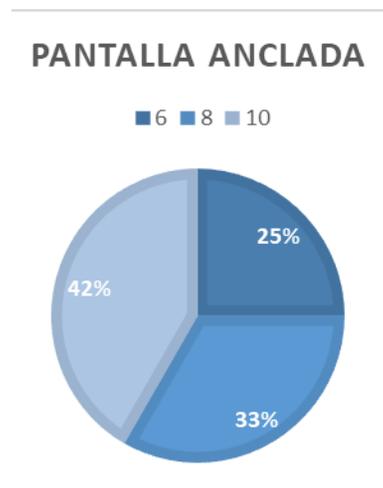


Fuente: elaboración propia, 2024

- **Pantalla anclada**

En la Figura 3-27 podemos observar que los resultados obtenidos son los mismos que los mencionados anteriormente para muros de pantalla donde el incremento es constante con valor de 8 y 9%.

Figura 3-27 Porcentajes de precios muro de pantalla anclada



Fuente: elaboración propia, 2024

3.4 Ingeniería de valor

Para aplicar la ingeniería de valor se ponderaron los coeficientes considerados apropiados y necesarios para realizar una evaluación precisa de cada tipo de muro, de igual forma, cada uno de dichos coeficientes tiene una puntuación específica de acuerdo a su grado de importancia en el diseño, basada en consultas a expertos del área, como se muestra en la

Tabla 3-3. Además, para poder puntuar cada estructura de contención se utilizaron valores acordes a la posición que ocupan para cada coeficiente, siendo 1 el valor máximo, para el segundo lugar 0.8, para el tercero 0.65 y para el cuarto lugar 0.5, utilizando la Ecuación 3-1. Todos los valores previamente mencionados fueron multiplicados por las cifras correspondientes a cada coeficiente y finalmente se realizó una sumatoria para obtener, de acuerdo a la ingeniería de valor, la tipología de muro más adecuada para una altura de 6 metros, ya que para esta altura se plantearon diseños de todas las tecnologías.

Tabla 3-3 Coeficientes para la ingeniería de valor

		Coeficientes					Ingeniería de valor	
Tipo de muro		Costo 0.32	Tecnología 0.28	Fabricación y mano de obra 0.18	Tiempo 0.16	Armonía visual 0.06		
6 metros	Gravedad	0.32	0.14	0.18	0.16	0.048	0.848	84.8
	Ménsula	0.256	0.28	0.144	0.128	0.06	0.868	86.8
	Pantalla	0.208	0.224	0.117	0.104	0.03	0.683	68.3
	Anclada	0.16	0.182	0.09	0.08	0.039	0.551	55.1

Fuente: elaboración propia, 2024

$$Iv = n_0 * A + n_1 * B + n_2 * C + n_3 * D + n_4 * E$$

Ecuación 3-1

Iv = ingeniería de valor

A = coeficiente de costo= 0.32

B = coeficiente de tecnología= 0.28

C = coeficiente de fabricación y mano de obra=0.18

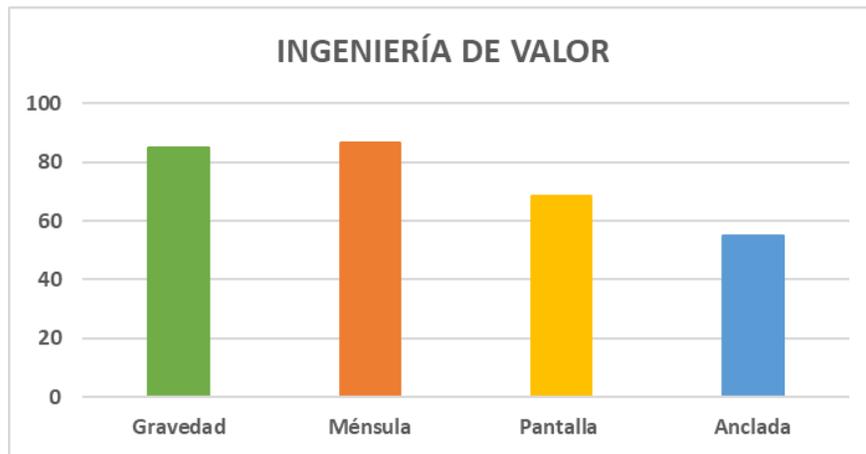
D = coeficiente de tiempo= 0.16

E = coeficiente de armonía visual= 0.06

n_n = valor asignado a cada estructura en función de la posición que ocupa (1, 0.85, 0.65, 0.5)

Los resultados tabulados se encuentran expresados gráficamente en la Figura 3-28, donde se puede observar que, para este caso, la tecnología más apropiada es el muro tipo ménsula, con un total de 86.8/100, dos puntos por debajo se encuentran los muros a gravedad, en tercer lugar, muros de pantalla y finalmente muros de pantalla anclada.

Figura 3-28 Ingeniería de valor



Fuente: elaboración propia, 2024

Conclusiones

- Tras la recopilación de información, principalmente la obtenida del proyecto PRECUPA, acerca de los tipos de suelos y sus factores físico-mecánicos de la ciudad de Cuenca, se determina que existe algunas terrazas y dependiendo de su composición, afloran tres depósitos coluviales predominantes en el territorio, mismos que se encuentran plenamente identificados dentro del proyecto desarrollado por el Dr. Pedro Basabe.
- A partir de la consulta de experto, realizada a especialistas del área geotécnica, se determinó que existe concordancia en cuanto a lo descrito por el proyecto PRECUPA, y que además, los criterios para la construcción de un determinado tipo de estructura de contención dependen de distintas variables y no únicamente del tipo de suelo en el que se cimente, como ejemplo, la particularidad del proyecto, su función principal, el cliente que lo requiera e incluso la topografía donde se va a emplazar la estructura.
- Al plantear modelos de estructuras de contención, analizarlos y diseñarlos para diferentes alturas, se desarrolló una compilación de información que permitió determinar la tecnología de contención constructiva en función de las condiciones, basándose además en las recomendaciones propuestas por la literatura del tema; para muros a gravedad no se diseñaron estructuras de gran altura (máximo 6 metros), para muros tipo ménsula no se utilizaron alturas menores a 4 metros, y la máxima de 9.5 metros, finalmente, para el caso de muros de pantalla apuntalada y anclada, se diseñó para alturas medias (6 metros en adelante) y para la altura

máxima permitida por el software, teniendo en cuenta que en casos prácticos la altura sobrepasa los 10 metros.

- De acuerdo a las dimensiones y los parámetros identificados del suelo, se efectuó un análisis de cada muro de contención determinando las solicitaciones, comportamiento frente a deslizamiento y volcamiento, cantidades de obra requeridas, así como sus respectivos presupuestos, una vez detalladas las cifras de los parámetros mencionados, especificadas en los anexos, se procedió a cruzar toda esta información por alturas y tipos de suelo realizándose la comparación.
- Por otra parte, se tomó como referente de comparación la altura de seis metros, ya que se desarrollaron diseños de todas las tecnologías de contención para esta altura.
- Mediante una consulta de experto se generó una ecuación para determinar con diferentes pesos y variables la ingeniería de valor y cuantificar que tipología de muro es la más factible en función de su altura, al analizar aspectos económicos, tipo de tecnología, fabricación y mano de obra, tiempo de construcción y armonía visual, es decir, el impacto que genera en el medio y la cantidad de espacio que requiere para su emplazamiento, obteniendo así la opción más adecuada para una altura de 6 metros, que resulto el muro tipo ménsula.
- Las estructuras de contención son obras civiles de suma importancia debido a su alto riesgo de colapso por diseños incorrectos que afectan su estabilidad general, por lo que los factores de seguridad utilizados fueron para todos los casos los mínimos recomendados por la norma, y además comprobados fuera del software mediante hojas de cálculo anexadas en el documento.

- Dentro del análisis de ingeniería de valor, los expertos consultados consideran que el parámetro de mayor importancia es el económico, ya que conforme aumentan las alturas, los requerimientos para conservar la estabilidad del muro aumentan, por lo que, por ejemplo, en el caso de un muro a gravedad resultaría una estructura mucho más robusta y masiva que un muro de ménsula para la misma elevación (6 metros), es decir, el presupuesto también aumentaría, en virtud de lo expuesto, se concluye que para cada altura existe una tecnología de contención constructiva recomendada.

Recomendaciones

- Se considera importante continuar con el análisis mediante ingeniería de valor para diferentes alturas, con el objetivo de encontrar que tecnología resulta más adecuada técnica y económicamente para cada una de ellas.
- Será importante investigar con mayor detalle los tipos de suelo que existen y el comportamiento de los diferentes muros, con el propósito de obtener mayor número de datos para contrastar con las estructuras que pueden diseñarse para cada caso.
- Aplicar de manera más amplia la ingeniería de valor, con cada tipología de muro para obtener datos más cercanos sobre su funcionalidad, evaluando otros parámetros además de la altura.

Bibliografía

- AASHTO. (2020). *American Association of State Highway and Transportation LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS*. Washington.
- Bañón, L. (2003). *Análisis de alternativas técnicas y diseño del sistema para el sostenimiento del terreno durante las fases de construcción y servicio de una infraestructura subterránea destinada al estacionamiento de vehículos en Alicante*. Alicante: Universidad de Alicante.
- Cooperación Ecuador Suiza (CSS). (1998). *Dirección nacional de defensa civil: medidas de prevención de desastres y primeros auxilios*. Cuenca : Proyecto PRECUPA . Recuperado el 13 de Febrero de 2024
- Cortés, J. (2010). Estudio exploratorio para la determinación del coeficiente balasto a partir de ensayos en laboratorio para suelos cohesivos. *Proyecto final de graduación*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Obtenido de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6149/estudio_exploratorio_determinaci%C3%B3n_coeficiente_balasto.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- CYPE CAD. (2024). *Manuela de uso, cálculo, comprobación y dimensionamiento de muros de pantalla*. Software para arquitectura, ingeniería y construcción .
- Freire, M. (1999). *Precisiones para el empleo del módulo de balasto en edificación* (Vol. 463). Informes de la construcción.
- Gomez, C., & Hoyos, J. (2010). *Verificación de las teorías para el cálculo del empuje de suelos sobre pantallas en Medellín*. Medellín: Escuela de Ingeniería de Antioquia .
- Guzmán Estrada, N. (2018). Muros de retención, utilizando sistema placa poste tipo tablestaca para alturas no mayores a dos metros. *Trabajo de titulación*. Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.

- Leoni, A. (2020). *Apunte de coeficiente de Balasto*. Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires: Universidad Nacional de la Plata.
- M Das, B. (1984). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. California: Universidad estatal de California.
- Municipio de Cuenca. (2016). *Atlas cartográfico del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Cuenca.
- NEC-SE-GC. (2015). *Geotécnica y cimentaciones*. Ecuador: Ministerio de Desarrollo urbano y vivienda. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/7.-NEC-SE-GC-Geotecnia-y-Cimentaciones.pdf>
- Perez, D. (2020). Teorías de empuje de suelos Rankine y Coulomb. *Maestría de Ingeniería civil*. Universidad distrital Francisco Jose de Caldas, Bogotá.
- Quinde, P., & Reinoso, E. (junio de 2016). Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca. *SciELO*, 1-26. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000100001#:~:text=Ecuador%20se%20encuentra%20dentro%20del,m%C3%A1s%20grandes%20de%20la%20historia.
- Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica. (2015). *Mapa de Ordenes de Suelos del Ecuador*. Obtenido de <http://www.sigtierras.gob.ec/mapa-de-ordenes-de-suelos/>
- Suarez, J. (2012). *Deslizamientos: Técnicas de remediación* (Vol. 2). Bucaramanga , Colombia: Ediciones UIS.
- Torres, R. (2008). *Análisis y diseño de muros de contención de concreto armado*. Merida, Venezuela : Facultad de ingeniería de la Universidad de los Andes.

Velazco, J. L. (2004). Diseño optimo de muros tablestacados anclados. *Trabajo de titulación.*

Universidad de los Andes, Bogotá.

Villavicencio, J., & Matute, L. (2018). *Regeneración del Mirador de Turi y zonas aledañas.*

Alcaldía de Cuenca . Cuenca: Fundación Barranco.

Anexos

Anexo 1 Comprobación de muro a gravedad 6 m

MÉTODO DE RANKINE						
COMPROBACIONES						
DATOS						
Tipo de suelo	Ángulo (ϕ)	Peso específico (γ)	Carga (q)	Altura (h)	Espesor relleno	
SC	30	20	10	6	0.6	
Punta	Talon	Canto	Corona	Espesor base	Base	
0.5	2.6	1.1	0.5	0.9	4.2	
Peso Específico H'A	Altura total	Altura tramo 1	Altura tramo 2	Longitud en planta	Cohesión	
25	6.9	4	2	6	5	
VOLCAMIENTO						
Ka	Empuje de carga	Empuje suelo	Empuje total	Peso propio kN/m	Centro gravedad x	
0.33	19.8	118.8	138.6	229.5	1.45	
Peso carga (Ws)	Vol.suelo	Peso suelo (Wr)	Brazo carga	Brazo relleno	Peso relleno	
37	16.8	336	2.35	4.45	6	
M.volcamiento	297	M.estabilizante	1916.425	Fsv	6.452609428	CUMPLE
DESPLAZAMIENTO						
Rv	μ	c'	Fr	Empuje horizontal	Fsd	
608.5	0.42	2.5	266.07	138.6	1.91969697	
					CUMPLE	
Figura	Peso	Brazo x	Peso x brazo	cgx		
1	94.5	2.1	198.45	1.449673203		
2	110	1.05	115.5			
3	25	0.75	18.75			
Total	229.5		332.7			

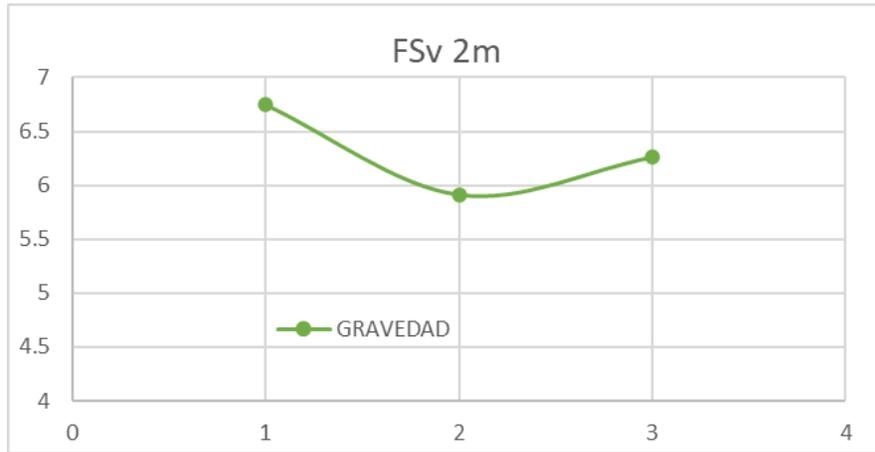
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 2 Comprobación de muro a ménsula 6 m

MÉTODO DE RANKINE						
COMPROBACIONES						
DATOS						
Tipo de suelo	Ángulo (ϕ)	Peso específico (γ)	Carga (q)	Altura (h)	Espesor relleno	
SC	30	20	10	6	0.5	
Punta	Talon	Canto	Corona	Espesor base	Base	
3.6	1.95	0.65	0.25	1.15	6.2	
Peso Específico H'A	Altura total	Altura tramo 1	Altura tramo 2	Longitud en planta	Cohesión	
25	7.15	4	2	6	5	
VOLCAMIENTO						
Ka	Empuje de carga	Empuje suelo	Empuje total	Peso propio kN/m	Centro gravedad x	
0.33	19.8	118.8	138.6	255.75	3.34	
Peso carga (Ws)	Vol.suelo	Peso suelo (Wr)	Brazo carga	Brazo relleno	Peso relleno	
26	12.5	250	4.9	6.325	36	
M.volcamiento	297	M.estabilizante	2627.655	Fsv	8.847323232	CUMPLE
DESPLAZAMIENTO						
Rv	μ	c'	Fr	Empuje horizontal	Fsd	
567.75	0.42	2.5	253.955	138.6	1.832287157	
					CUMPLE	
Figura	Peso	Brazo x	Peso x brazo	cgx		
1	178.25	3.1	552.575	3.340224829		
2	65	3.925	255.125			
3	12.5	3.725	46.5625			
Total	255.75		854.2625			

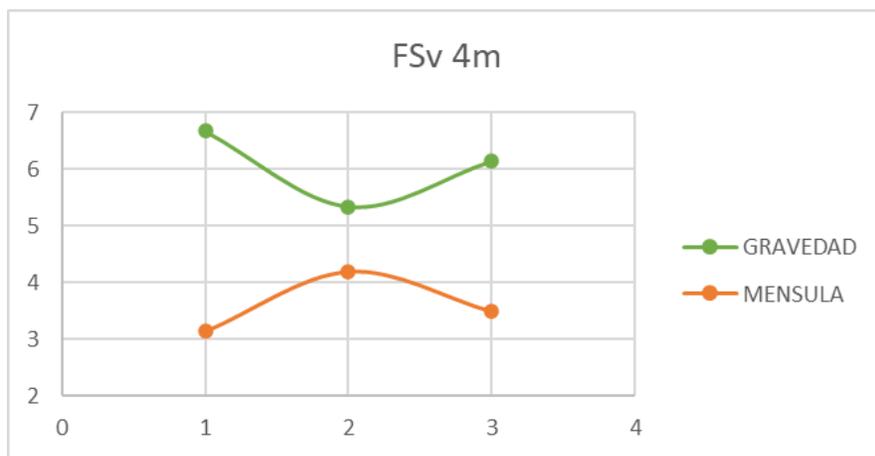
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 3 Factor de seguridad al volcamiento muro gravedad altura 2 m



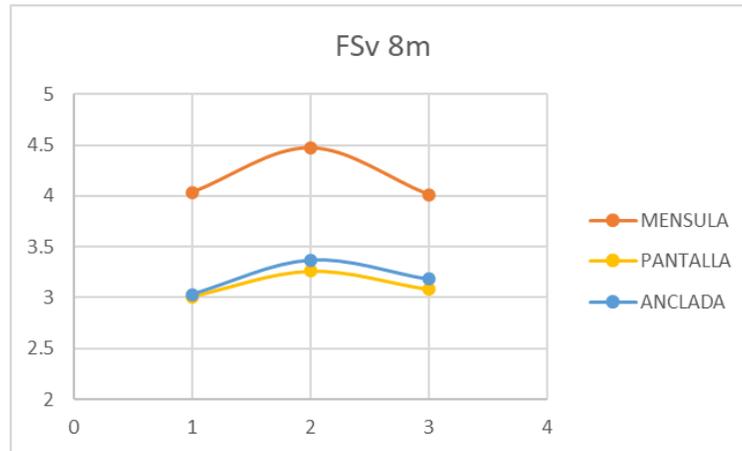
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 4 Factor de seguridad al volcamiento muros 4 m



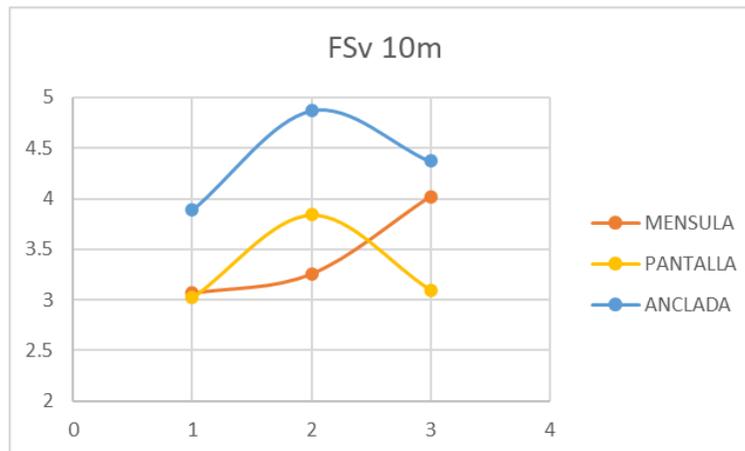
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 5 Factor de seguridad al volcamiento muro 8 m



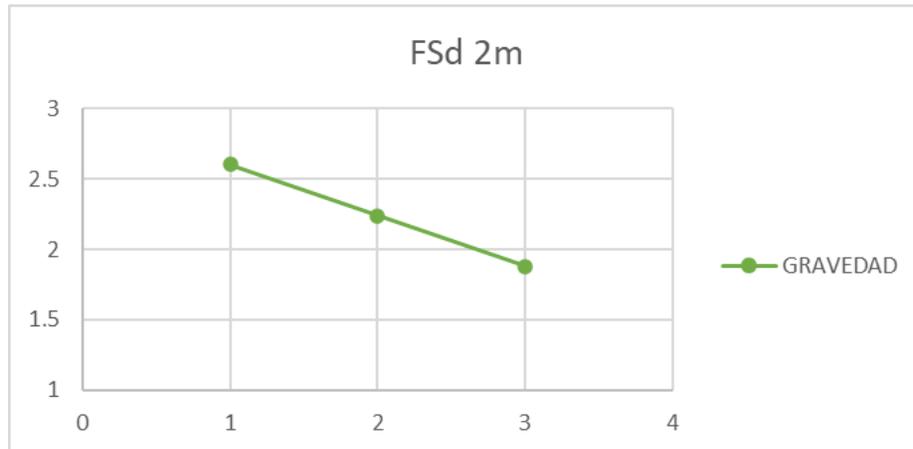
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 6 Factor de seguridad al volcamiento muros 10m



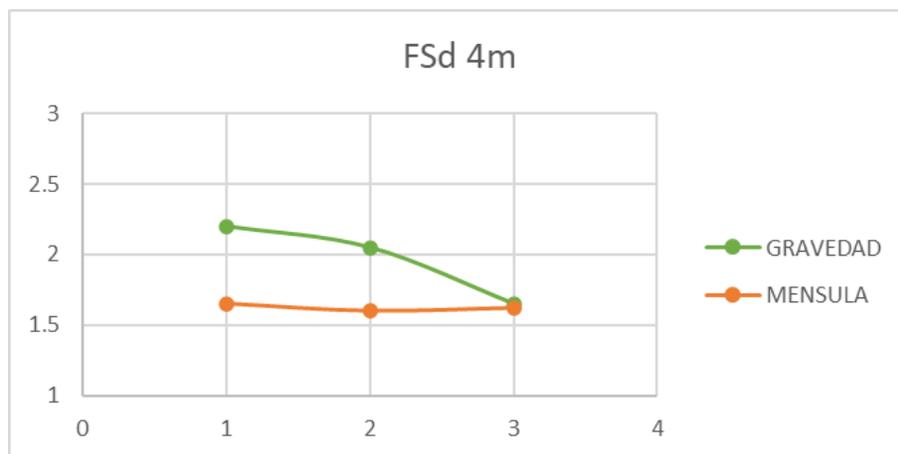
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 7 Factor de seguridad al deslizamiento muro gravedad 2 m



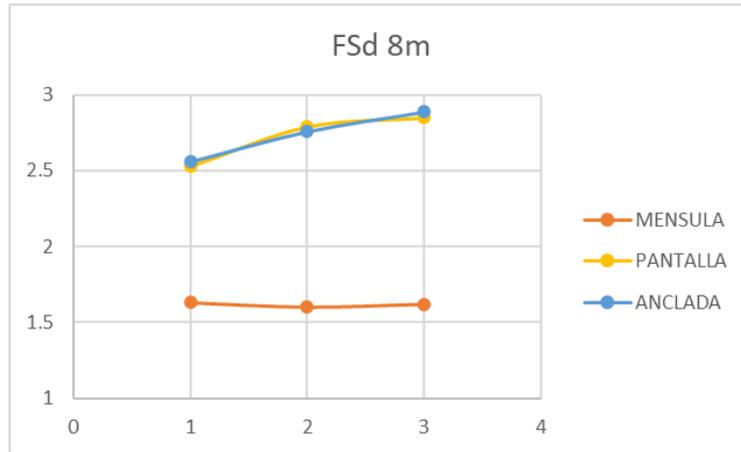
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 8 Factor de seguridad al deslizamiento muros 4 m



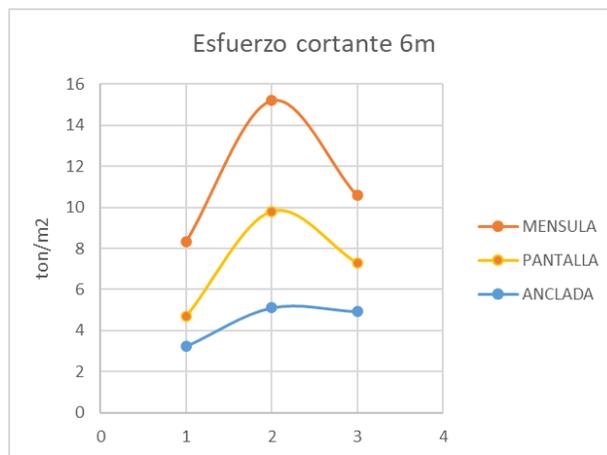
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 9 Factor de seguridad al deslizamiento muros 8 m



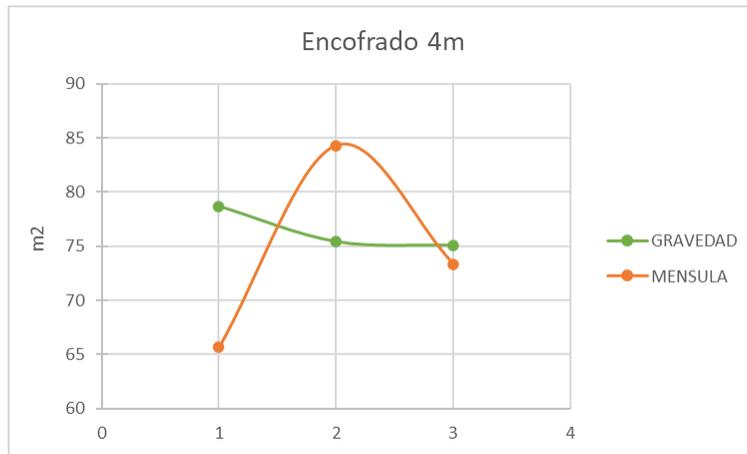
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 10 Esfuerzo cortante muros 6 m



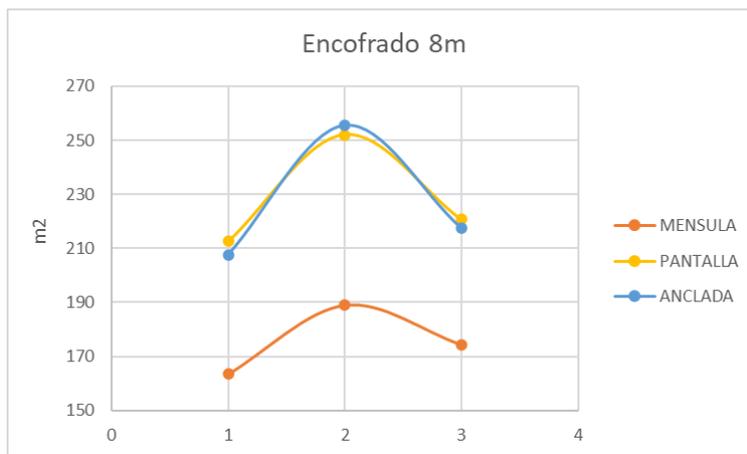
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 11 Consumo de materiales encofrado muros 4 m.



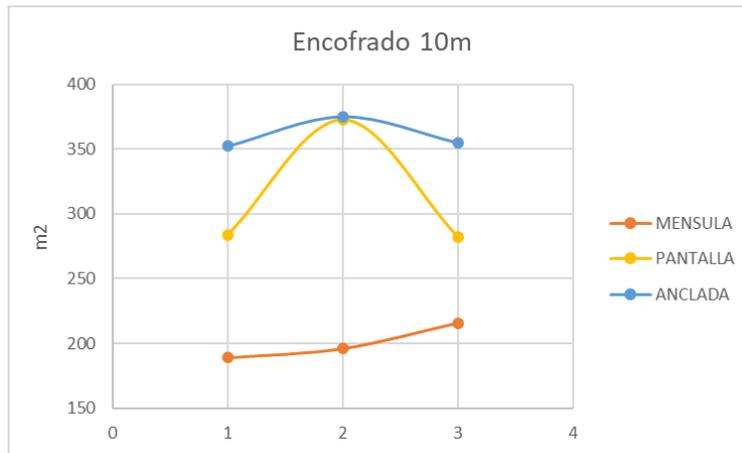
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 12 Consumo de materiales encofrado muros 8 m.



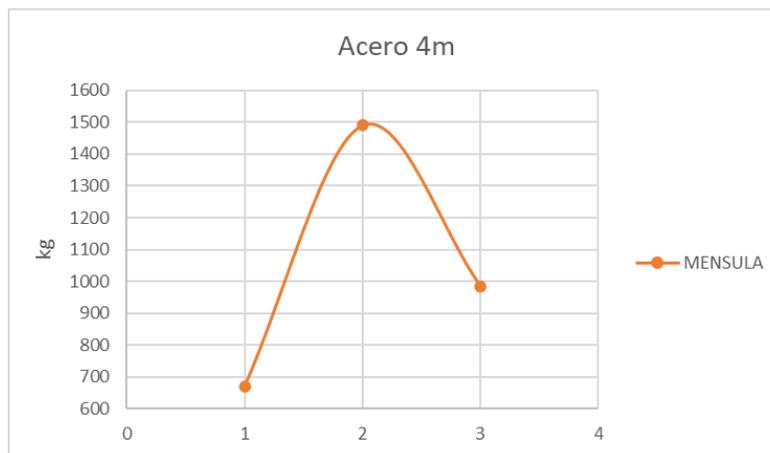
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 13 Consumo de materiales encofrado muros 10 m.



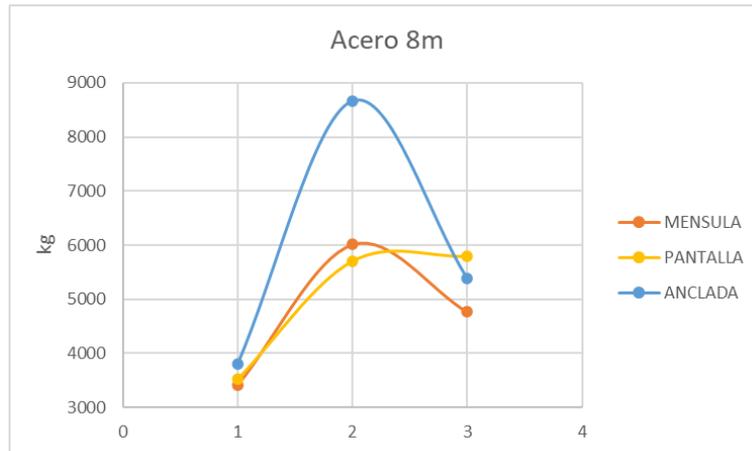
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 14 Consumo de acero muro ménsula 4 m.



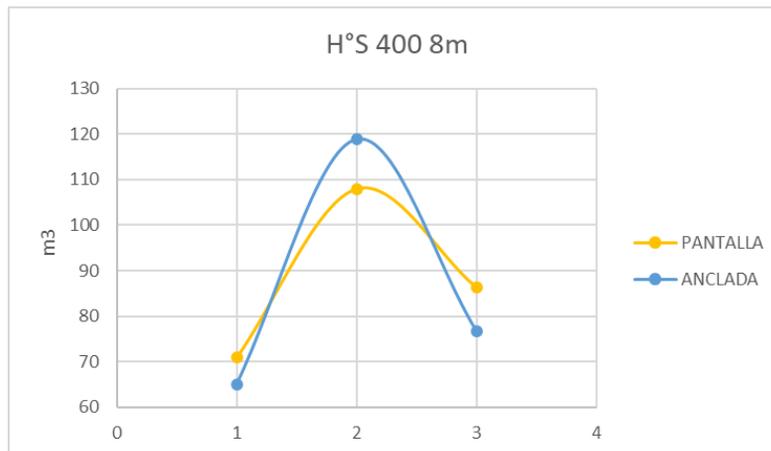
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 15 Consumo de acero muros 8 m.



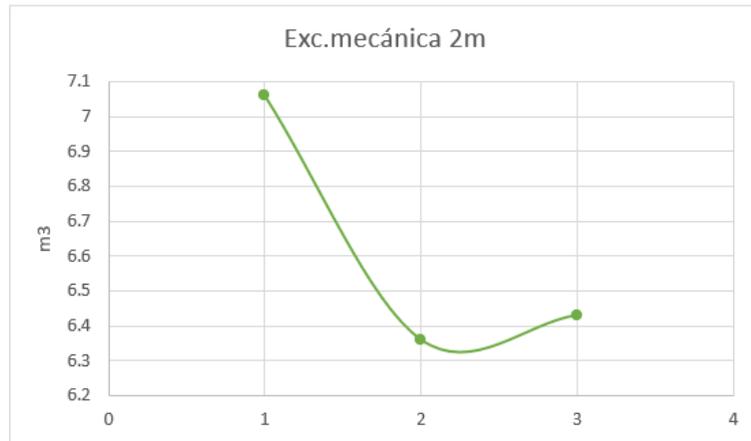
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 16 Consumo de hormigón simple f 'c de 400 kg/cm2 muros de 8 m.



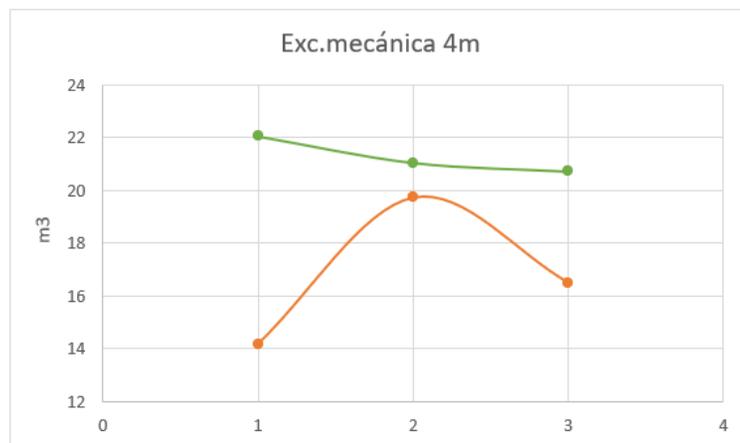
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 17 Excavación mecánica muros gravedad 2 m.



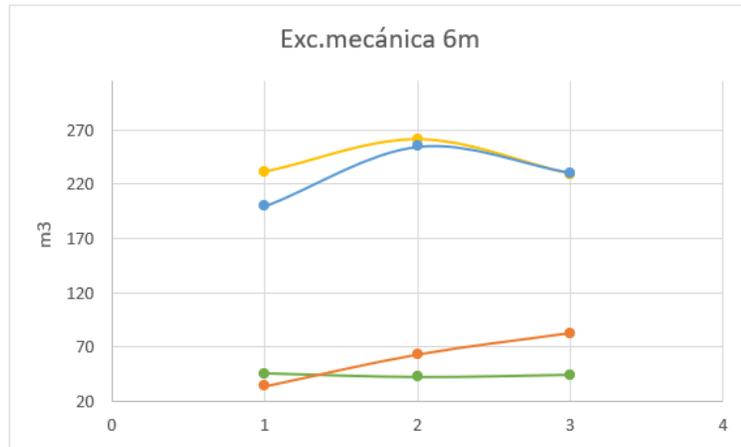
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 18 Excavación mecánica muros 4 m.



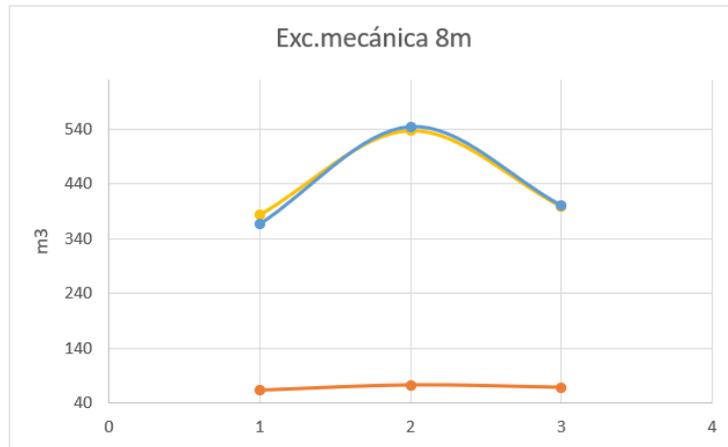
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 19 Excavación mecánica muros 6 m.



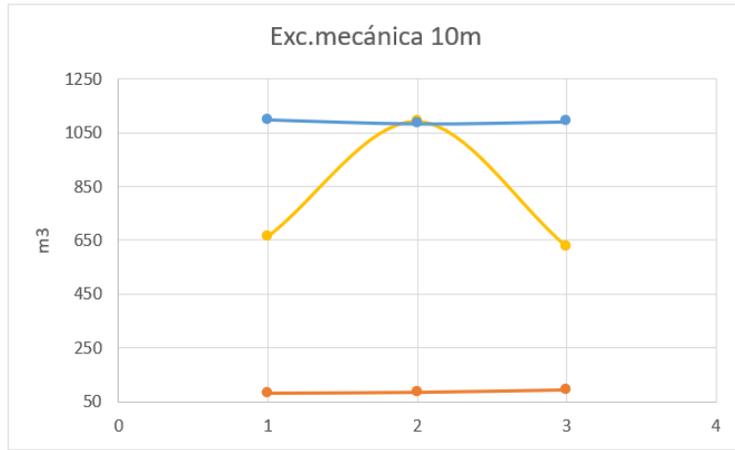
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 20 Excavación mecánica muros 8 m.



Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 21 Excavación mecánica muros 10 m.



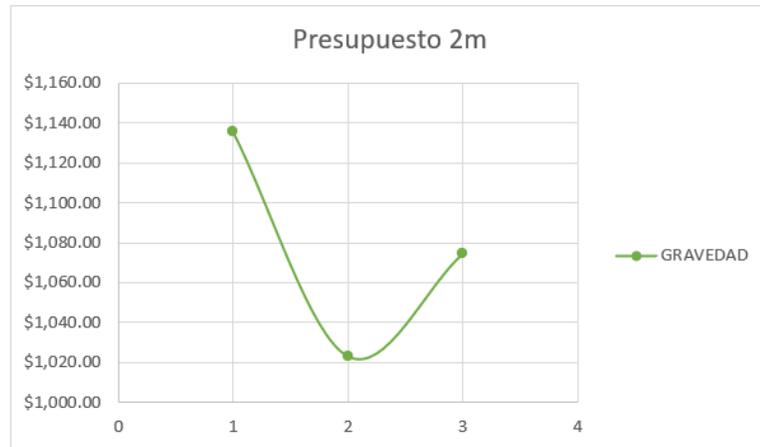
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 22 Análisis de consumo de materiales para cada tipo de muro, con su respectiva altura y tipo de suelo

DATOS		TIPO DE MURO														
tipo de suelo	altura (m)	GRAVEDAD		MÉNSULA			PANTALLA			PANTALLA ANCLADA						
		h. ciclópeo (m3)	encofrado (m2)	acero (kg)	hormigón (m3)	encofrado (m2)	acero (kg)	hormigón (m3)	encofrado (m2)	acero (kg)	hormigón (m3)	encofrado (m2)	cable pretensado (m)	epóxico para cada anclaje (m3)	epóxico total (m3)	
CL	2	1.68	41.46													
	4	3.49	78.68	670.37	11.52	65.64										
	6	7.65	121.5	1772.51	31.11	110.57	1549.39	36	156	1437.36	26.4	140.8	72	0.65	1.3	
	8			3407.06	64.62	163.44	3520.23	70.88	212.624	3800.89	65.1	207.7	108	0.81	2.43	
	10			5781.72	79.65	188.85	8532.48	132	284	12440	157.5	352.5	108	1.14	3.42	
GW	2	1.24	39.08													
	4	3.22	75.44	1490.29	26.04	84.28										
	6	6.42	115.44	3493.75	53.58	134.56	2608.08	45.36	166.32	2435.05	39	169	72	0.65	1.3	
	8			6010.27	96.21	188.97	5707.07	108	252	8661.47	118.8	255.6	108	0.81	2.43	
	9.5			6965.26	91.28	196.03	13059.09	217.5	372.5	14352.64	225	375	108	1.14	3.42	
SC	2	1.36	41.12													
	4	3.05	75.1	984.26	17.55	73.35										
	6	6.78	118.56	2399.97	41.7	122.2	2222.36	43.2	158.4	2237.85	36	156	72	0.65	1.3	
	8			4763.03	79.65	174.45	5798.19	86.4	220.8	5384.4	76.8	217.6	108	0.81	2.43	
	10			7622.75	113.96	215.285	10199.64	126	282	12108.82	165	355	108	1.14	3.42	

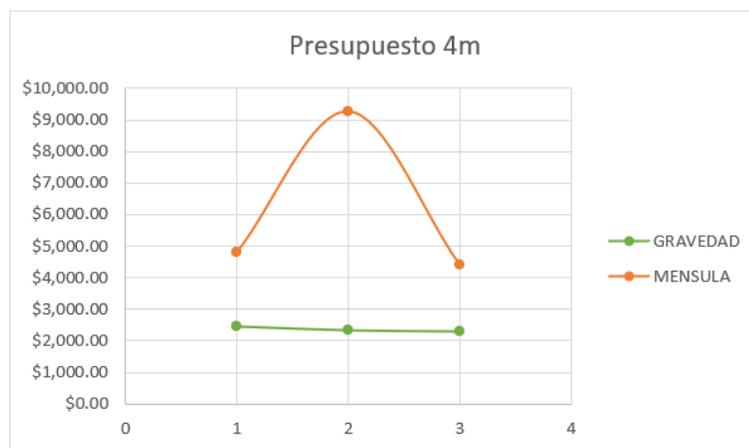
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 23 Presupuesto muro 2 m gravedad



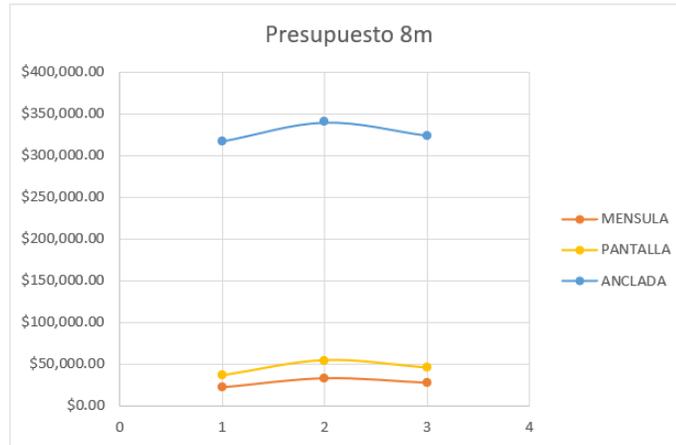
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 24 Presupuesto muros 4 m



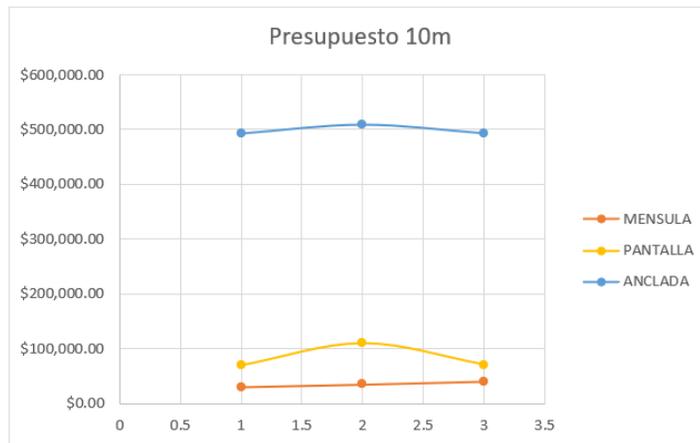
Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 25 Presupuesto muros 8 m



Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 26 Presupuesto muros 10 m



Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 27 Tabla de análisis de precios según el tipo de suelo y altura muros de gravedad

GRAVEDAD				CL			GW			SC		
No.	Rubro	Unidad	Precio unitario	2	4	6	2	4	6	2	4	6
1	Excavación mecánica	m3	\$ 4.30	\$30.36	\$94.86	\$194.19	\$27.35	\$90.52	\$181.12	\$27.65	\$89.10	\$189.03
2	Excavación manual (perfilado)	m3	\$19.12	\$6.75	\$21.09	\$43.17	\$6.08	\$20.12	\$40.27	\$6.15	\$19.81	\$42.03
3	Relleno compactado con mejoramiento	m3	\$26.45	\$186.74	\$583.49	\$1,194.48	\$168.22	\$556.77	\$1,114.07	\$170.07	\$548.04	\$1,162.74
4	Encofrado	m2	\$17.50	\$172.55	\$1,376.90	\$2,126.25	\$683.90	\$1,320.20	\$2,020.20	\$719.60	\$1,314.25	\$2,074.80
5	Hormigón ciclopeo 180	m3	\$110.92	\$186.35	\$387.11	\$848.54	\$137.54	\$357.16	\$712.11	\$150.85	\$338.31	\$752.04
TOTAL				\$1,135.74	\$2,463.45	\$4,406.63	\$1,023.09	\$2,344.77	\$4,067.76	\$1,074.32	\$2,309.50	\$4,220.63

Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 28 Tabla de análisis de precios según el tipo de suelo y altura muros ménsula

MÉNSULA				CL				GW				SC			
No.	Rubro	Unidad	Precio unitario	4	6	8	9.5	4	6	8	9.5	4	6	8	9.5
1	Excavación mecánica	m3	\$ 4.30	\$60.93	\$144.65	\$270.69	\$355.70	\$84.93	\$270.69	\$312.35	\$369.46	\$70.95	\$355.70	\$293.30	\$ 409.06
2	Excavación manual (perfilado)	m3	\$19.12	\$13.55	\$32.16	\$60.18	\$79.08	\$18.88	\$60.18	\$69.44	\$82.14	\$15.77	\$79.08	\$65.21	\$ 90.94
3	Relleno compactado con mejoramiento	m3	\$ 26.45	\$374.80	\$889.78	\$1,665.03	\$2,187.94	\$522.39	\$1,665.03	\$1,921.33	\$2,272.58	\$436.43	\$2,187.94	\$1,804.15	\$ 2,516.19
4	Encofrado	m2	\$ 17.50	\$1,148.70	\$1,934.98	\$2,860.20	\$3,304.88	\$1,474.90	\$2,354.80	\$3,306.98	\$3,430.53	\$1,283.63	\$2,138.50	\$3,052.88	\$ 3,767.49
5	Hormigón simple 240	m3	\$ 142.56	\$1,642.29	\$4,435.04	\$9,212.23	\$11,354.90	\$3,712.26	\$7,638.36	\$13,715.70	\$13,012.88	\$307.13	\$5,944.75	\$11,354.90	\$ 16,246.14
6	Acero de refuerzo de varios diámetros	kg	\$ 2.31	\$1,548.55	\$4,094.50	\$7,870.31	\$13,355.77	\$3,442.57	\$8,070.56	\$13,883.72	\$16,089.75	\$2,273.64	\$5,543.93	\$11,002.60	\$ 17,608.55
TOTAL				\$4,788.82	\$11,531.10	\$21,938.63	\$30,638.27	\$9,255.93	\$20,059.62	\$33,209.52	\$35,257.33	\$4,387.54	\$16,249.90	\$27,573.04	\$ 40,638.37

Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 29 Tablas de análisis de precios muros pantalla apuntalada

PANTALLA				CL			GW			SC		
No.	Rubro	Unidad	Precio unitario	6	8	10	6	8	10	6	8	10
1	Excavación mecánica	m3	\$ 4.30	\$994.89	\$1,649.70	\$2,850.15	\$1,122.60	\$2,313.92	\$4,696.16	\$985.65	\$1,714.55	\$2,688.15
2	Excavación manual (perfilado)	m3	\$19.12	\$221.19	\$366.77	\$633.66	\$249.58	\$514.44	\$1,044.08	\$219.13	\$381.19	\$597.64
3	Relleno compactado con mejoramiento	m3	\$ 26.45	\$6,119.74	\$10,147.54	\$17,531.72	\$6,905.30	\$14,233.27	\$28,886.84	\$6,062.87	\$10,546.46	\$16,535.22
4	Encofrado	m2	\$ 17.50	\$2,730.00	\$3,720.92	\$4,970.00	\$2,910.60	\$4,410.00	\$6,518.75	\$2,772.00	\$3,864.00	\$4,935.00
5	Hormigón simple 400	m3	\$181.37	\$6,529.32	\$12,855.51	\$23,940.84	\$8,226.94	\$19,587.96	\$39,447.98	\$7,835.18	\$15,670.37	\$22,852.62
6	Acero de refuerzo de varios diámetros	kg	\$ 2.31	\$3,579.09	\$8,131.73	\$19,710.03	\$6,024.66	\$13,183.33	\$30,166.50	\$5,133.65	\$13,393.82	\$23,561.17
TOTAL				\$20,174.23	\$36,872.16	\$69,636.40	\$25,439.69	\$54,242.92	\$110,760.30	\$23,008.48	\$45,570.38	\$71,169.79

Fuente: elaboración propia, 2024

Anexo 30 Tablas de análisis de precios muros pantalla anclada

PANTALLA ANCLADA				CL			GW			SC		
No.	Rubro	Unidad	Precio unitario	6	8	10	6	8	10	6	8	10
1	Excavación mecánica	m3	\$ 4.30	\$857.98	\$1,578.40	\$4,729.48	\$1,095.73	\$2,340.53	\$4,659.05	\$991.28	\$1,725.07	\$4,694.31
2	Excavación manual (perfilado)	m3	\$19.12	\$190.75	\$350.92	\$1,051.49	\$243.61	\$520.36	\$1,035.83	\$220.39	\$383.53	\$1,043.67
3	Relleno compactado con mejoramiento	m3	\$ 26.45	\$5,277.57	\$9,709.00	\$29,091.83	\$6,739.99	\$10,407.21	\$28,658.58	\$6,097.52	\$10,611.21	\$28,875.47
4	Encofrado	m2	\$ 17.50	\$2,464.00	\$3,634.75	\$6,168.75	\$2,957.50	\$4,473.00	\$6,562.50	\$2,730.00	\$3,808.00	\$6,212.50
5	Hormigón simple 400	m3	\$181.37	\$4,788.17	\$11,807.19	\$28,565.78	\$7,073.43	\$21,546.76	\$40,808.25	\$6,529.32	\$13,929.22	\$29,926.05
6	Acero de refuerzo de varios diámetros	kg	\$ 2.31	\$3,320.30	\$8,780.06	\$28,736.40	\$5,624.97	\$20,008.00	\$33,154.60	\$5,169.43	\$12,437.96	\$27,971.37
7	Suministro e instalación de tensor/varilla Ø=25 mm	m	\$ 11.17	\$804.24	\$1,206.36	\$1,206.36	\$804.24	\$1,206.36	\$1,206.36	\$804.24	\$1,206.36	\$1,206.36
8	Suministro y colocación de resina epóxica para anclaje estructural	m3	\$ 115,000.00	\$149,500.00	\$279,450.00	\$393,300.00	\$149,500.00	\$279,450.00	\$393,300.00	\$149,500.00	\$279,450.00	\$393,300.00
TOTAL				\$167,203.01	\$316,516.67	\$492,850.08	\$174,039.46	\$339,952.21	\$509,385.16	\$172,042.18	\$323,551.35	\$493,229.72

Fuente: elaboración propia, 2024