



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

Tema

**Pantalla Reticulada y Prefabricada de Hormigón con
Anclajes Postensados para el Tratamiento de Taludes
Inestables.**

Autor

Carchipulla Leal, Álvaro Manuel

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
Ingeniero Civil**

Tutor

Ing. Martínez Rehpani Colón Gilberto, M. Sc.

Guayaquil, Ecuador

03 de marzo del 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de Titulación fue realizado en su totalidad por **Carchipulla Leal, Álvaro Manuel**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR



f. _____

Ing. Martínez Rehpani Colón Gilberto, M. Sc.

DIRECTORA DE LA CARRERA



f. _____

Ing. Alcívar Bastidas Stefany Esther, M. Sc.

Guayaquil, a los 03 del mes de marzo del año 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Carchipulla Leal, Álvaro Manuel**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación: Pantalla Reticulada y Prefabricada de Hormigón con Anclajes Postensados para el Tratamiento de Taludes Inestables, previo a la obtención del título de Ingeniería Civil, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme con las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente, este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 03 del mes de marzo del año 2023

EL AUTOR

f. _____

Carchipulla Leal, Álvaro Manuel



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Carchipulla Leal, Álvaro Manuel**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Pantalla Reticulada y Prefabricada de Hormigón con Anclajes Postensados para el Tratamiento de Taludes Inestables**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 03 del mes de marzo del año 2023

EL AUTOR:

f. _____














Carchipulla Leal, Álvaro Manuel

REPORTE URKUND

Document Information

Analyzed document	Carchipulla_Alvaro_final.pdf (D159748073)
Submitted	3/1/2023 1:57:00 AM
Submitted by	
Submitter email	clara.glas@cu.ucsg.edu.ec
Similarity	2%
Analysis address	clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-11/010051362.pdf Fetched: 3/1/2023 2:02:00 AM	 1
W	URL: http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/278/1/UNESUM-EJU-CIVIL-2011-10.pdf Fetched: 3/1/2023 1:59:00 AM	 2
W	URL: http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15499/1/T-UCE-0012-FIG-005.pdf Fetched: 3/1/2023 2:00:00 AM	 2
W	URL: http://geologie-alpine.ujf-grenoble.fr/articles/GA_1995__71__3_0.pdf Fetched: 3/1/2023 1:59:00 AM	 1
W	URL: http://www.civilucsc.cl/investigacion/memorias/2013VictorCabezas.pdf Fetched: 3/1/2023 2:00:00 AM	 1
W	URL: https://repositorio.sena.edu.co/sitios/albanileria_restauracion_edificaciones/aplicacion_aditi_ Fetched: 3/1/2023 2:00:00 AM	 1
W	URL: https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/178386 Fetched: 3/1/2023 2:00:00 AM	 1
W	URL: https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas_oceanograficas/acta18/OCE1801_15.pdf Fetched: 3/1/2023 2:00:00 AM	 2
W	URL: https://www.eluniverso.com/guayaquil/2020/08/26/nota/7954990/caida-constante-piedras-causa-inc... Fetched: 3/1/2023 2:01:00 AM	 1
W	URL: http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52338 Fetched: 3/1/2023 2:01:00 AM	 1
W	URL: http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/19915 Fetched: 3/1/2023 2:01:00 AM	 1
W	URL: http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8017 Fetched: 3/1/2023 2:01:00 AM	 1
W	URL: https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/2218/3/UTPL_Maza_Chamba_Cristian_Vicente_1009103.pdf Fetched: 3/1/2023 2:02:00 AM	 1



AGRADECIMIENTOS

A Dios y a mis padres por ser mis guías y apoyarme en todo momento para lograr mis metas en la vida.

A mi tutor el ingeniero Gilberto Martínez, sus palabras fueron muy sabias y sus conocimientos precisos, los cuales fueron muy importantes tanto como para mi formación profesional como para este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A Dios por ser un padre misericordioso, a mi madre por darme la vida, su tiempo y su esfuerzo, a mi padre por su apoyo incondicional y creer en mí y a mis hermanos.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**



Plomada sustentación para:
COLON GILBERTO
MARTINEZ REHPANI

f. _____
ING. MARTÍNEZ REHPANI COLÓN GILBERTO, M. SC.
TUTOR



Plomada sustentación para:
STEFANY ESTHER
ALCIVAR BASTIDAS

f. _____
ING. STEFANY ALCÍVAR BASTIDAS, M. SC.
DIRECTORA DE CARRERA



Plomada sustentación para:
MELIDA ALEXANDRA
CAMACHO MONAR

f. _____
ING. ALEXANDRA CAMACHO MONAR, PhD
COORDINADOR DEL ÁREA



Plomada sustentación para:
DANIEL MARK
PETROCHE SANCHEZ

f. _____
ING. DANIEL PETROCHE SANCHEZ, M. Sc.
OPONENTE

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	2
ANTECEDENTES.....	4
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	6
JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	7
DESCRIPCIÓN DE ZONA DE ESTUDIO	9
OBJETIVOS.....	10
Objetivo General	10
Objetivos Específicos	10
1 CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO	11
1.1 Marco Legal	11
1.1.1 Estatuto de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG).....	11
1.1.2 Convenio cerro San Eduardo-UCSG	11
1.2 Ubicación del cerro San Eduardo	12
1.2.1 Condición climática de la ciudad de Guayaquil.....	13
1.2.2 Análisis estadístico de precipitaciones en Guayaquil.....	14
1.2.3 Influencia de las precipitaciones en el cerro San Eduardo	17
1.3 Asentamientos informales en la ciudad de Guayaquil	18
1.3.1 Comunidades del cerro San Eduardo	19
1.3.2 Problemática socioambiental	19
1.3.3 Consecuencias de la problemática socioambiental	19
1.4 Marco tectónico-estructural costa	20
1.4.1 Tectónica de placas	20
1.4.2 Regiones morfológicas del Ecuador	21
1.4.3 Zona de antearco.....	21
1.4.4 Geología de zona de antearco.....	22
1.5 Geología de la zona de estudio	23
1.5.1 Cordilleras Chongón-Colonche	23
1.5.2 Cordillera submarina de Carnegie	24
1.5.3 Formación Cayo	26
1.5.4 Formación Piñón.....	27

1.5.5	Formación Guayaquil.....	28
1.6	Sismicidad histórica en la ciudad de Guayaquil.....	28
1.6.1	Influencia sísmica de la ciudad de Guayaquil en el cerro San Eduardo 30	
1.7	Estabilidad de taludes.....	31
1.7.1	Talud y tipo de taludes.....	31
1.7.2	Factor de seguridad.....	32
1.7.3	Características resistentes de un talud.....	32
1.7.4	Generalidades de estática.....	33
1.7.5	Deslizamiento debido a una carga gravitatoria.....	33
1.7.6	Resistencia al corte de los suelos.....	34
1.7.7	Presión de poro en la resistencia al corte.....	34
1.7.8	Presión de agua en grieta de tensión.....	35
1.7.9	Inestabilidad de taludes.....	36
1.8	Factores condicionantes de movimiento de taludes.....	37
1.8.1	Estratigrafía y litología.....	37
1.8.2	Estructura geológica.....	37
1.8.3	Condiciones hidrogeológicas y comportamiento hidrogeológico de los materiales.....	38
1.8.4	Propiedades físicas, resistentes y deformacionales.....	39
1.8.5	Tensiones naturales y estado tenso-deformacional.....	39
1.9	Factores desencadenantes de movimiento de taludes.....	40
1.9.1	Sobrecargas estáticas.....	40
1.9.2	Cargas dinámicas.....	40
1.9.3	Precipitaciones.....	40
1.9.4	Meteorización.....	41
1.9.5	Meteorización física o mecánica.....	42
1.9.6	Descompresión.....	42
1.9.7	Expansión térmica.....	43
1.9.8	Meteorización por actividad biológica.....	43
1.9.9	Meteorización química.....	44
1.10	Discontinuidades en roca.....	44
1.10.1	Buzamiento y rumbo o dirección.....	44

1.10.2	Planos de discontinuidad	45
1.10.3	Fallas y juntas	46
1.11	Tipos de falla de taludes	46
1.11.1	Falla planar	46
1.11.2	Falla en cuña	47
1.12	Tipos de movimiento de masas	48
1.12.1	Desprendimiento.....	49
1.12.2	Deslizamientos	49
1.12.3	Flujos de masas.....	51
2	CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS	
	52	
2.1	Características geológicas de los taludes inestables del cerro San Eduardo	52
2.1.1	Influencia del orden tectónico de las cordilleras en el cerro San Eduardo	52
2.2	Zonas de inestabilidad en los taludes del cerro San Eduardo	53
2.3	Tipos de tratamiento de taludes inestables.....	55
2.3.1	Muros de contención de gaviones	55
2.3.2	Muros de contención por gravedad de ciclópeo	59
2.3.3	Muros en cantiléver.....	62
2.4	Generalidades, características, clasificación y materiales de los sistemas de anclajes inyectados y postensados	66
2.4.1	Conceptos y características generales	66
2.4.2	Partes características de un sistema de anclaje inyectado y postensado	66
2.4.3	Tipos de anclajes inyectados y postensados.....	68
2.4.4	Elementos de un sistema de anclaje inyectados y postensados	71
2.4.5	Materiales	71
2.4.6	Sistemas y materiales de protección contra agentes corrosivos	78
2.4.7	Dispositivos auxiliares de un anclaje	79

2.5	Consideraciones importantes en el diseño de anclajes	80
2.6	Proceso constructivo.....	85
2.7	Métodos constructivos de tratamiento de taludes inestables con pernos de anclaje y anclajes presforzados	94
2.7.1	Muros claveteados “Soil Nailing”	94
2.7.2	Muros con anclaje postensados	101
3	CAPÍTULO 3. PROPUESTA.....	105
3.1	Dificultades de acceso al cerro San Eduardo	105
3.2	Propuesta de pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con anclajes postensados	109
3.3	Metodología ejecutiva	110
3.3.1	Las perforaciones	111
3.3.2	Introducción de pernos e inyección de lechada de cemento	112
3.3.3	Proceso constructivo de la inyección de la lechada de cemento	114
3.4	Ensayos de laboratorio	117
3.4.1	Materiales	117
3.4.2	Diseño de lechada de cemento	118
3.4.3	Roturas de cilindros	119
3.4.4	Resultados de ensayos de laboratorio.....	122
3.5	Crucetas de hormigón armado prefabricadas.....	128
3.6	Sistemas de protección superficial de taludes	136
3.6.1	Hidrosiembra	136
3.6.2	Cobertura vegetal	138
3.6.3	Geotextil.....	139
3.6.4	Plantas nativas y endémicas	140
3.7	Paisajismo del cerro San Eduardo.....	141
	RESULTADOS Y DISCUCIONES.....	143
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	144
4	REFERENCIAS	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Datos históricos de precipitaciones en Guayaquil</i>	15
Tabla 2. <i>Factores condicionantes y desencadenantes de un talud inestable</i>	37
Tabla 3. <i>Clasificación macizo rocoso en el área del túnel</i>	54
Tabla 4. <i>Diseño de lechada de cemento para 4 probetas ($f'c=225$ kg/cm²)</i>	118
Tabla 5. <i>Diseño de lechada de cemento para 1 metro cubico en kilogramos</i> <i>(kg) ($f'c=225$ kg/cm²)</i>	118
Tabla 6. <i>Pesaje y medición de los cilindros de muestra 1</i>	120
Tabla 7. <i>Pesaje y medición de los cilindros de muestra 2</i>	120
Tabla 8. <i>Pesaje y medición de los cilindros de muestra 3</i>	120
Tabla 9. <i>Pesaje y medición de los cilindros de muestra 4</i>	121
Tabla 10. <i>Valores de resistencia a compresión $f'c$ de cilindros de muestra 1</i>	122
Tabla 11. <i>Valores de resistencia a compresión $f'c$ de cilindros de muestra 2</i>	123
Tabla 12. <i>Valores de resistencia a compresión $f'c$ de cilindros de muestra 3</i>	124
Tabla 13. <i>Valores de resistencia a compresión $f'c$ de cilindros de muestra 4</i>	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Zonas de estudio</i>	9
Figura 2. <i>Histograma de precipitaciones históricas en Guayaquil</i>	16
Figura 3. <i>Tectónica de placas oceánicas y continental</i>	21
Figura 4. <i>Mapa tectono-estratigráfico de zona antearco</i>	22
Figura 5. <i>Mapa geológico de la Cordillera Chongón Colonche</i>	24
Figura 6. <i>Mapa morfológico submarino del Ecuador</i>	25
Figura 7. <i>Columna estratigráfica en el tiempo geológico</i>	27
Figura 8. <i>Tectónica de placas de la zona de subducción</i>	30
Figura 9. <i>Mapa de zonificación sísmica del Ecuador</i>	31
Figura 10. <i>Mecanismo de fuerzas actuantes y resistentes</i>	33
Figura 11. <i>Suelo saturado y no saturados por las precipitaciones</i>	41
Figura 12. <i>Esquema de los componentes de la orientación de un plano de falla</i>	45
Figura 13. <i>Falla planar</i>	47
Figura 14. <i>Falla de tipo cuña</i>	48
Figura 15. <i>Trayectorias de desprendimientos</i>	49
Figura 16. <i>Deslizamiento traslacional suelo-roca</i>	50
Figura 17. <i>Tipos de deslizamiento rotacional</i>	51
Figura 18. <i>Perfil geológico cerro San Eduardo túneles</i>	53
Figura 19. <i>Afloramiento de estratos del macizo rocoso zona cerro San Eduardo-Monumental</i>	55
Figura 20. <i>Esquemas de tipos de orientación de muros de gaviones</i>	57
Figura 21. <i>Muro de gaviones en trasdós escalonado e intradós vertical</i>	57
Figura 22. <i>Muro de gaviones en intradós escalonados y trasdós vertical</i>	58
Figura 23. <i>Muro de gaviones intradós escalonado con inclinación paralelo al talud</i>	59

Figura 24. <i>Fundición de primera capa del muro de hormigón ciclópeo.....</i>	61
Figura 25. <i>Muro de hormigón ciclópeo al pie de talud.....</i>	61
Figura 26. <i>Tipos de muros de hormigón armado o aligerado.....</i>	64
Figura 27. <i>Componentes de un Muro en cantiléver.</i>	65
Figura 28. <i>Muros de hormigón armado en macizo rocoso.....</i>	65
Figura 29. <i>Zonas características de un sistema de anclaje.</i>	67
Figura 30. <i>Diagrama de flujo de metodología convencional de operaciones para el diseño de anclajes</i>	81
Figura 31. <i>Diámetro de perforación de ancla.</i>	83
Figura 32. <i>Diámetros mínimos de perforaciones en función del número de torones o cables.....</i>	88
Figura 33. <i>Diámetros mínimos de perforaciones en función del número de torones o cables.....</i>	89
Figura 34. <i>Inyección de lechada de cemento de abajo hacia arriba.</i>	91
Figura 35. <i>Elementos que intervienen en el proceso de tensado de anclajes</i>	93
Figura 36. <i>Doble tensado simultaneo de anclajes mediante gato hidráulico</i>	93
Figura 37. <i>Elementos de un sistema de muros claveteados "Soil Niling" ...</i>	97
Figura 38. <i>Distribución de las fuerzas axiales en el clavo de anclaje según la zona activa y pasiva.....</i>	98
Figura 39. <i>Pasos del proceso constructivo de los muros claveteados "Soil Nailing".....</i>	99
Figura 40. <i>Estabilización de talud mediante muro claveteado o "Soil Nailing"</i>	101
Figura 41. <i>Fundición de pantalla de hormigón armado proyectado.</i>	102
Figura 42. <i>Pantalla de hormigón armado proyectado</i>	103
Figura 43. <i>Fundición en sitio de muro reticulado.....</i>	104
Figura 44. <i>Muro reticulado</i>	104

Figura 45. <i>Zona de estudio</i>	105
Figura 46. <i>Comunidad 25 de julio y Virgen del Cisne</i>	106
Figura 47. <i>Comunidades asentadas en zona cerro San Eduardo-Monumental</i>	106
Figura 48. <i>Límite topográfico entre las comunidades y el pie de talud de zona cerro San Eduardo-Túnel</i>	107
Figura 49. <i>Limitación de espacio físico para acceso a las zonas de estudio del Cerro San Eduardo</i>	107
Figura 50. <i>Altas pendientes de los taludes del cerro San Eduardo</i>	108
Figura 51. <i>Límite topográfico entre las comunidades y el pie de talud de zona cerro San Eduardo-Túnel</i>	108
Figura 52. <i>Proceso constructivo convencional de instalación de anclajes postensados</i>	111
Figura 53. <i>Esquema de perforación del terreno</i>	112
Figura 54. <i>Esquema de introducción del anclaje</i>	113
Figura 55. <i>Inyección de lechada de cemento</i>	113
Figura 56. <i>Perforaciones realizadas la zona de anclaje</i>	115
Figura 57. <i>Ubicación e instalación de mezcladora y bomba de inyección</i>	115
Figura 58. <i>Colocación de crucetas prefabricadas mediante grúa</i>	116
Figura 59. <i>Postensado del sistema de anclaje</i>	116
Figura 60. <i>Instalación completa de una cruceta postensada</i>	117
Figura 61. <i>Trabajos realizados en laboratorio</i>	119
Figura 62. <i>Trabajos realizados en laboratorio</i>	119
Figura 63. <i>Rotura de probetas de lechada de cemento</i>	121
Figura 64. <i>Rotura de probetas de lechada de cemento</i>	122
Figura 65. <i>Curva de evolución de la resistencia a compresión de la muestra 1</i>	123

Figura 66. <i>Curva de evolución de la resistencia a compresión de la muestra 2</i>	124
Figura 67. <i>Curva de evolución de la resistencia a compresión de la muestra 3</i>	125
Figura 68. <i>Curva de evolución de la resistencia a compresión de la muestra 4</i>	126
Figura 69. <i>Comparación de curvas de resistencia a compresión de muestra 1, 2, 3 y 4</i>	126
Figura 70. <i>Comparación de resistencias a compresión de las muestras 1,2,3 y 4 a los 7 días</i>	127
Figura 71. <i>Comparación de resistencias a compresión de las muestras 1,2,3 y 4 a los 14 días</i>	127
Figura 72. <i>Comparación de resistencias a compresión de las muestras 1,2,3 y 4 a los 14 días</i>	128
Figura 73. <i>Esquema de pantalla reticulada de crucetas de hormigón armado prefabricado y postensado (Zona Cerro San Eduardo-Túnel)</i>	129
Figura 74. <i>Esquema de pantalla reticulada de crucetas de hormigón armado prefabricado y postensado (Zona Cerro San Eduardo-Túnel)</i>	129
Figura 75. <i>Esquema de pantalla reticulada de crucetas de hormigón armado prefabricado y postensado (Zona Cerro San Eduardo-Túnel)</i>	130
Figura 76. <i>Esquema de pantalla reticulada de crucetas de hormigón armado prefabricado y postensado (Zona Cerro San Eduardo-Túnel)</i>	130
Figura 77. <i>Esquema de pantalla reticulada de crucetas de hormigón armado prefabricado y postensado (Zona Cerro San Eduardo-Túnel)</i>	131
Figura 78. <i>Instalación de una cruceta postensada</i>	131
Figura 79. <i>Instalación de dos crucetas postensadas</i>	132
Figura 80. <i>Instalación de tres crucetas postensadas</i>	132
Figura 81. <i>Una cruceta instalada al pie del talud en zona expuesta (zona cerro San Eduardo-Monumental)</i>	133

Figura 82. <i>Dos crucetas instaladas al pie del talud en zona expuesta (zona cerro San Eduardo-Monumental)</i>	133
Figura 83. <i>Tres crucetas instaladas al pie del talud en zona expuesta (zona cerro San Eduardo-Monumental)</i>	134
Figura 84. <i>Cuatro crucetas instaladas al pie del talud en zona expuesta (zona cerro San Eduardo-Monumental)</i>	134
Figura 85. <i>Cuatro crucetas instaladas al pie del talud en zona expuesta (zona cerro San Eduardo-Monumental)</i>	135
Figura 86. <i>Una cruceta instalada al pie del talud en zona expuesta (zona cerro San Eduardo-Monumental)</i>	135
Figura 87. <i>Una cruceta instalada al pie del talud en zona expuesta (zona cerro San Eduardo-Monumental)</i>	136
Figura 88. <i>Hidro sembrado proyectado a presión</i>	137
Figura 89. <i>Protección superficial del talud mediante cobertura vegetal</i>	139
Figura 90. <i>Crucetas color vegetación</i>	142

RESUMEN

El presente trabajo estudia el uso de la pantalla reticular prefabricada de hormigón con anclajes postensados como una solución alternativa para reducir la vulnerabilidad por taludes susceptibles al deslizamiento existentes en la zona urbana y vial del cerro san Eduardo de Guayaquil. Para esto, se realiza un levantamiento bibliográfico de los fundamentos teóricos y metodológicos de soluciones relacionadas con el uso de pantalla reticular prefabricada y postensada para el tratamiento de taludes inestables, con el objetivo de proponer una adaptación de esta solución alternativa para las condiciones de las zonas de estudio en el cerro San Eduardo. El planteamiento esquemático y experimental del uso de pantalla reticular prefabricada y postensada se consigue mediante ensayos de laboratorio, gráficos e imágenes de las zonas de estudio, por lo que se sugiere que, debido a las condiciones y accesibilidad limitada del cerro san Eduardo, los factores climáticos, los sismos y la meteorización, el uso de pantalla reticular prefabricada de hormigón y postensada es viable y sustentable ante otros métodos tradicionales.

Palabras Clave: sistema de anclajes individuales postensados, muros anclados, Soil Nailing, cerro San Eduardo, meteorización, lluvias, taludes inestables.

ABSTRACT

The present work studies the use of a reticular prefabricated concrete screen with post-tensioned anchors as an alternative solution to reduce the vulnerability of slopes susceptible to landslides in the urban and road areas of Cerro San Eduardo in Guayaquil. For this a bibliographical survey of the theoretical and methodological foundations of solutions related to the use of prefabricated and post-tensioned reticular screen for the treatment of unstable slopes was carried out, this with the objective of proposing an adaptation of this alternative solution for the conditions of the zones. of study in the hill San Eduardo. The schematic and experimental approach to the use of a prefabricated and post-tensioned reticular screen was achieved through laboratory tests, graphics and images of the study areas, for which it is suggested that due to the conditions and limited accessibility of San Eduardo Hill, climatic factors earthquake and weathering the use of precast concrete and post-tensioned reticular screen is viable and sustainable compared to other traditional methods.

Keywords: system of individual post-tensioned anchors, anchored walls, Soil Nailing, San Eduardo Hill, weathering, rain, unstable slopes.

INTRODUCCIÓN

La protección de taludes inestables es una medida de prevención que debería ser considerada indispensable, especialmente, cuando de salvar vidas humanas se trata, pues esta condición de inestabilidad que depende de factores condicionantes del suelo puede provocar el colapso o deslizamiento de masas, debido a factores desencadenantes reactivos, lo que tiene como consecuencia un problema de impacto socioambiental en zonas vulnerables de riesgo potencial, sobre todo, si hay civilización a los alrededores de estos taludes o laderas que hacen parte de formaciones geológicas, como cordilleras, cerros o montañas.

Así, Guayaquil cuenta con algunos cerros representativos de la ciudad: cerro San Eduardo (zona de estudio), cerro Santa Ana, cerro del Carmen, cerro Colorado, cerro Mapasingue y Martha de Roldós. El cerro Santa Ana, ubicado al noreste de la ciudad, forma parte de la historia de Guayaquil, debido a que allí se produjeron los primeros asentamientos, asimismo, el cerro Colorado ubicado en el norte de Guayaquil es considerado un cerro sin vida, pues en un incendio forestal desapareció la mayor parte de su vegetación, por otro lado, el cerro del Carmen ubicado cerca del cerro Santa Ana es usado como cementerio, y los cerros San Eduardo, Mapasingue y Martha de Roldós fueron usados para asentamiento informales.

Dichos cerros son de riesgo potencial hacia las personas que habitan allí, puesto que corren el peligro de padecer accidentes mortales como consecuencia de posibles deslizamientos de masas ocasionados por el colapso de dichos cerros.

Ecuador está ubicado en el cinturón de fuego del Pacífico y es cercano al punto caliente de las Islas Galápagos lo que hace que sea un país con actividad volcánica activa, además de estar asentado sobre una zona de subducción de la placa de Nazca y la placa sudamericana, esto lo convierte en un país con actividad sísmica importante; otro factor primordial son las épocas de lluvias de gran intensidad que, por lo general, en Guayaquil van desde enero hasta abril.

Estos fenómenos naturales afectan la estabilidad del talud de los cerros de Guayaquil, lo que genera posibles colapsos, esto sin mencionar la considerable meteorización que sufren los macizos rocosos expuestos al intemperismo y que forman parte de los cerros de Guayaquil, debido a los agentes atmosféricos que los corroen, lo que perjudica la estabilidad del talud.

Por ello, es preciso el estudio geológico y de prefactibilidad de los cerros, pues esto es vital para analizar y determinar zonas de riesgo y poblaciones vulnerables ante esta amenaza, para determinar posibles soluciones ante este fenómeno natural, así, la protección de taludes inestables es un pilar fundamental y preventivo en contra de este fenómeno natural potencial, por lo que existen diferentes tipos o métodos de protección en el mercado para taludes inestables, así como otros emergentes.

El método estudiado en esta investigación sería una solución alternativa e innovadora emergente para la protección de taludes inestables; dicho método implica el uso de pantalla reticulada de hormigón prefabricado con anclajes postensados, asimismo, otras soluciones más comunes en el país y en el mercado son la hidrosiembra, el hormigón proyectado en taludes, los muros de contención, los muros de gavión, los geotextiles, las mallas metálicas con anclaje o bulones, entre otros.

Unas soluciones pueden ser más eficientes que otras según las demandas del talud, es decir, estos métodos deben adaptarse al talud y a sus necesidades para una función óptima y segura, con el fin de salvaguardar las vidas humanas que se encuentren en zonas de riesgo potencial, además de posibles daños colaterales, como los daños a la naturaleza o la infraestructura en estas zonas.

ANTECEDENTES

Actualmente, se han registrado caída de rocas y deslizamiento de material pétreo en los primero 500 m de tramo de la Av. Modesto Apolo Ramírez ubicada en el cerro San Eduardo, Guayaquil. Según moradores de la zona, estas activades de caídas de rocas de no más de 20 m de altura y deslizamientos de material pétreo han sido recurrentes desde la inauguración del túnel cerro San Eduardo (El Universo, 2020).

Un deslizamiento de tierra se registró en la zona Cerro El Paraíso, específicamente, en el Bosque Protector Cerro Paraíso, pues habitantes de la zona comentaron que empezaron a caer piedras y luego se produjo el deslave, por lo que se alertaron y huyeron del lugar al casi ser impactados por las piedras, igualmente, añadieron que esta es una zona de amortiguamiento de caída de rocas y deslizamientos, debido a su recurrencia, más en épocas de lluvias intensas (El Comercio, 2022).

Estos antecedentes demuestran la evidencia de los fenómenos naturales que ocurren en el cerro San Eduardo, como los deslizamientos de tierras y caída de rocas, debido a factores climáticos; no se descartan otros factores externos, como la sismicidad de la zona y la meteorización hacia las rocas expuestas en los taludes del cerro San Eduardo.

Debido a esta problemática, el cerro San Eduardo representa un gran riesgo hacia las comunidades que lo habitan, como las zonas Urbana Cooperativa 25 de Julio y Virgen del Cisne cerca del túnel cerro San Eduardo, así como zonas urbanas ubicadas en la parte baja del cerro San Eduardo cerca al Estadio Monumental, incluyendo las vías y las calles que colindan con dicho cerro; esto afecta a los conductores que transitan por esta avenida, pues esta situación pone en riesgo su vida, además, provoca congestión de tránsito por el cierre de carriles donde aterrizan estos deslizamientos y caída de materiales del cerro para evitar accidentes.

El municipio de Guayaquil toma acciones en la zona de caída de rocas y deslizamientos de material pétreo de la Av. Modesto Apolo Ramírez, haciendo limpieza del lugar y acordonando la zona de riesgo, para evitar accidente, asimismo, realiza evaluaciones e inspecciones de la zona de los

hechos con personal municipal y geólogos que afirman la presencia de fisuras y grietas, lo que representa un problema estructural en el cerro.

Ante esto, como medidas de solución para la protección para los taludes del cerro, específicamente, en la Av. Modesto Apolo Ramírez, se encuentra el uso de hormigón proyectado con mallas metálicas ancladas con bulones, las que ayudan a evitar deslizamientos superficiales, pero no solucionan el problema de raíz, es decir, evitar un posible colapso de grandes masas del talud del cerro San Eduardo. En este sentido, esta investigación se enfoca en el estudio de una solución alternativa esquemática para la protección de taludes inestables, dicha solución alternativa a los métodos que se usan convencionalmente por el municipio de Guayaquil y en Ecuador.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Como consecuencia de los asentamientos informales a los alrededores o en los cerros de Guayaquil, como los asentamientos en el cerro San Eduardo (zona de estudio), estos son vulnerables, pues se ubican en zonas de riesgo por la posibilidad de deslizamientos de masas en los taludes del cerro, esto según los últimos registros de deslizamiento de tierra y desprendimientos y caída de rocas fracturadas del talud del cerro San Eduardo, lo que da indicios de que el cerro tiene taludes inestables.

Las posibilidades de colapso del cerro San Eduardo pueden acontecer en el caso de que el cerro tenga taludes inestables, esto por los últimos deslizamientos y desprendimientos de rocas registrados en los últimos años.

Así, los taludes inestables se determinan conforme con sus factores condicionantes (litología, estructura geológica, propiedades físicas resistentes, entre otros); dicha inestabilidad significa que su factor de seguridad ante el deslizamiento es bajo, lo que es una condición favorable para el colapso del talud. El colapso de un talud inestable es ocasionado por factores desencadenantes como la sismicidad de la zona, la meteorización en rocas, las lluvias torrenciales, entre otros, factores que se dan en la ciudad de Guayaquil, por otra parte, según Mata y Macias (2021), el cerro San Eduardo pertenece a la formación Cayo, es decir, son rocas volcanoclásticas submarinas con bajas resistencias y susceptibles a la meteorización, por lo que aumenta la posibilidad de un colapso.

Las zonas urbanas y viales localizadas a los alrededores y en el cerro San Eduardo se encuentran ubicadas dentro de zonas de riesgo, lo que les genera un problema que necesita ser atendido y prevenido por las autoridades competentes.

Por ello, es preciso realizar estudios geológicos actualizados del cerro San Eduardo, para mejorar información establecida, con el fin de analizar y determinar el problema de la inestabilidad del talud. Además, se debería realizar un estudio de prefactibilidad que determine las zonas de mayor riesgo dentro del cerro San Eduardo, para tomar acciones ante este problema con soluciones alternativas para la protección de taludes inestables, con el

propósito de prevenir deslizamientos de masas a causa de colapsos del talud inestable del cerro San Eduardo, para salvaguardar la vida de los habitantes de la zona de riesgo.

JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Con el fin de proponer soluciones alternativas de protección de taludes inestables y que se adapten a las necesidades del talud, para prevenir posibles deslizamientos de grandes masas frente a un colapso del talud inestable del cerro, se realizó esta investigación dirigida al estudio de una solución alternativa para la protección de taludes inestables, con el uso de una pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con anclajes postensados.

Este método innovador funciona mediante dispositivos de anclajes postensados que se anclan atravesando probables planos de falla, material del suelo o roca inestable del talud, anclando la base de apoyo del sistema (cruceta) a la roca firme de mayor resistencia que se encuentra a una determinada profundidad, para rellenar con lechada de cemento la perforación que se realizó previamente, así, luego de fraguar y ganar su resistencia máxima, es postensado y listo para su función.

Estos dispositivos de anclajes generan fuerzas de compresión que incrementan las fuerzas de rozamiento, lo que significa que aumenta la resistencia al corte y disminuye, considerablemente, el efecto de las fuerzas desestabilizadoras; a continuación, estas son algunas de las ventajas de esta alternativa innovadora.

- Facilidad de fabricación y producción en masa de la base de apoyo (cruceta) del sistema, debido a que son elementos de hormigón prefabricados.
- Fácil transporte de los dispositivos del sistema a la zona de trabajo.
- Instalación sencilla del sistema con la maquinaria necesaria para la ejecución del trabajo.
- Es un método considerado como una de las mejores alternativas en caso de escasa accesibilidad o reducido espacio de trabajo en casos de taludes en cantiléver o con pendientes pronunciadas.

- El sistema del método permite construirse de manera sucesiva en sentido vertical u horizontal, a la vez que se avanza con las perforaciones de una manera óptima y eficiente.
- Es amigable con el medio ambiente, pues estos elementos permiten la hidrosiembra de plantas nativas y endémicas del lugar, así como el drenaje superficial apropiado en el plano inclinado del talud, lo que evita la erosión pluvial.

Este método innovador tendría mucha ventaja frente a otros métodos convencionales para protección de taludes inestables del cerro San Eduardo, como los muros de contención, los muros de gavión, la hidrosiembra, el hormigón proyectado en taludes, los geotextiles, las mallas metálicas con bulones, entre otros.

Bajo las condiciones de inestabilidad de los taludes del cerro San Eduardo, estos muros de contención o muro de gaviones, frente a un deslizamiento de grandes masas provocado por fuertes lluvias u otros factores desencadenantes, y al estar sobre un terreno inestable, se desprenderían del suelo y se unirían al deslizamiento empeorando aún más esta catástrofe, lo que aumenta el riesgo mortal de los habitantes del cerro San Eduardo.

En el caso de los métodos de geotextiles, hidrosiembra, mallas metálicas con bulones y hormigón proyectado, serían solo soluciones para deslizamientos superficiales, pero no para prevenir el colapso de grandes masas del talud. Por ello, el estudio de esta propuesta esquemática es una alternativa innovadora para la protección de taludes inestables, lo que resulta importante, pues, de ser aplicada, podría dar buenos resultados.

DESCRIPCIÓN DE ZONA DE ESTUDIO

Este estudio se enfocó en dos zonas del cerro San Eduardo, Guayaquil, donde posiblemente pueda ocurrir inestabilidad de taludes en zonas más altas del cerro, específicamente, en las zonas denominadas “cerro San Eduardo-Túnel”, al oeste del túnel en las partes altas del cerro cercanas a las comunidades, y la zona “cerro San Eduardo-Monumental” ubicada en la parte alta de cerro al oeste del Estadio Monumental cercano a las comunidades del lugar.

Figura 1. Zonas de estudio



Nota. La figura describe las ubicaciones específicas de las zonas de estudio. Adaptado de Google Earth.

OBJETIVOS

Objetivo General

Estudiar el uso de una pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con anclajes postensados, como una alternativa de solución para reducir la vulnerabilidad socioambiental por los taludes susceptibles a deslizamientos en la zona urbana y vial del cerro San Eduardo de Guayaquil, así como proponer, esquemáticamente, los criterios de implantación de esta solución, para reducir las amenazas de desastre de un talud inestable en la zona alta del cerro hacia la zona habitada.

Objetivos Específicos

- Identificar, de manera global, las investigaciones relacionadas sobre el tema, con sus respectivos autores, y definir la perspectiva teórica desde la que se aborda la presente investigación.
- Definir, con ensayos de laboratorio, los parámetros aplicables al diseño de lechadas de cemento que se utilizan en las inyecciones de los anclajes postensados, de acuerdo con su comportamiento en estado fresco y con la normativa pertinente recomendada, con el fin de adaptar la metodología de dosificación experimental al proceso ejecutivo de inyecciones para anclajes en el talud a ser estabilizado.
- Establecer, a nivel esquemático, una propuesta del sistema de estabilización de taludes con pantalla reticulada prefabricada de hormigón, y determinar el sistema de anclajes postensados, las características de la técnica y los detalles esquemáticos del proceso constructivo, para reducir la vulnerabilidad socioambiental por los taludes susceptibles a deslizamientos en la zona urbana y vial del cerro San Eduardo de Guayaquil.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1 Marco Legal

Lo estipulado a continuación justifica y asume legalidad, además de validar este trabajo de investigación, pues el tema está objetivamente relacionado con los derechos a una vivienda digna y a salvaguardar a la ciudadanía con la ingeniería civil, para dar posibles soluciones a la problemática socioambiental en el cerro San Eduardo.

1.1.1 Estatuto de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG)

Mediante el estatuto de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG), el Consejo Universitario (2019) menciona, en el Artículo 3, las responsabilidades sustantivas de la UCSG con los integrantes de la institución y con el impacto de ellos con la sociedad. En el apartado (c), se establece que la misión de generar el conocimiento y el aprendizaje, de forma ética, crítica y prospectiva a los estudiantes, es con el objetivo de aplicarlo en su formación académica y profesional respecto con brindar soluciones o posibles soluciones de las problemáticas socioambientales, para contribuir y precautelar la vida y el desarrollo humano.

1.1.2 Convenio cerro San Eduardo-UCSG

La UCSG posee un convenio con el cerro San Eduardo, dicho convenio involucra a la Facultad de Arquitectura y Diseño, la Facultad de Ingeniería y el Comité de Desarrollo Comunal cerro San Eduardo (2018), con el objetivo de desarrollar el proyecto de vinculación Consultorio Urbano, lo que enriquezca la misión de la UCSG hacia la formación de profesionales conscientes con la sociedad, con fundamentos en la investigación, la fomentación y la persuasión en la ciencia y en la cultura, con enfoque en los valores propios, con el fin de lograr un óptimo desarrollo y superación del hombre.

Las facultades de Arquitectura y Diseño e Ingeniería de la UCSG llevaron a cabo la elaboración de una propuesta de un diseño para un proyecto de desarrollo comunitario denominado “Consultorio Urbano”, para mejorar la calidad de vida de las cooperativas Virgen del Cisne y 25 de Julio ubicadas en el cerro San Eduardo, Guayaquil. Dichas facultades tienen la responsabilidad de contribuir con asesorías en el ámbito arquitectónico/constructivo e identitario/cultural.

El objetivo es lograr un excelente proceso en la productividad socioambiental en las comunidades del cerro San Eduardo, para enriquecer los intereses del aprendizaje en los campos académicos de las facultades mencionadas y lograr la evaluación de los conocimientos obtenidos.

En los acuerdos del convenio UCSG-cerro San Eduardo forma parte la contribución con dichas comunidades del sector de la urbe, esto con posibles soluciones a problemas socioambientales mediante propuestas que beneficien y cautelen la calidad de vida de los habitantes de este sector respecto con la problemática socioambiental, debido a la caída de rocas, flujos detríticos, posibles deslizamiento de masas o erosiones superficiales en el cerro San Eduardo, esto por factores climáticos o fuerzas sísmicas como factores externos principales que afectan esta problemática.

1.2 Ubicación del cerro San Eduardo

El cerro San Eduardo está ubicado dentro del Bosque Protector Paraíso, el que fue establecido por el Ministerio de Agricultura y Ganadería en 1989 debido a la flora y fauna del lugar en las 300 hectáreas aproximadamente. Las zonas de áreas verdes de la ciudad de Guayaquil han desaparecido a lo largo de su historia, esto mediante la civilización, y el crecimiento poblacional, comercial e industrial.

Estos acontecimientos afectaron a los cerros principales de la ciudad borrando sus áreas naturales, las que fueron sustituidas por las necesidades de las civilizaciones para ese entonces, por ejemplo, para habitar, cementerios, áreas comerciales, botaderos de basura, entre otros.

Por este motivo, las organizaciones ambientales se encargan de fomentar y exigir que se conserven las pocas zonas de áreas verdes que quedan en la ciudad, así lo hicieron con el cerro San Eduardo que fue usado como botadero de basura y explotación de canteras para extracción de material pétreo para construcciones civiles. Dichas actividades fueron suspendidas a favor de las organizaciones ambientales luego de años de trabajo para lograrlo.

Por ello, el cerro San Eduardo aún conserva su flora y fauna dentro del Bosque Protector Paraíso, no obstante, surgieron asentamientos informales que crearon pequeñas comunidades. Este acontecimiento se dio desde los años 1982, así, actualmente, sobre el cerro San Eduardo se encuentra la Cooperativa 25 de Julio y la Cooperativa Virgen del Cisne.

Estas comunidades, al estar ubicadas en una zona geográfica con un relieve topográfico complejo, con una depresión y forma de un valle, tienen un difícil acceso y visibilidad. Estas comunidades están rodeadas por tres avenidas principales de la ciudad: la Av. Del Bombero, Av. Carlos J. Arosemena y Av. Barcelona que se conecta con la Av. Modesto Apolo, la que lleva hacia el túnel cerro San Eduardo.

1.2.1 Condición climática de la ciudad de Guayaquil

Guayaquil pertenece a la provincia del Guayas y a la región costa del Ecuador, así, la humedad en la región costa es gobernada por las corrientes marinas del Niño que empiezan en abril con un aire caliente y húmedo, lo que provoca la lluvia con una temperatura promedio de 30 °C, así como la corriente de Humboldt que transporta un aire frío y provoca un efecto adverso en el resto de los meses del año.

La región costa tiene un clima tropical que va de una temperatura anual de 22 °C y 26 °C, asimismo, se distingue de las demás regiones por generar precipitaciones diversas en diferentes sitios durante todo el año en los meses de diciembre y mayo, así, a este comportamiento climático se le conoce como “invierno”; dicha variabilidad de precipitación es causada por las corrientes marinas del Niño y Humboldt.

Guayaquil se ubica, específicamente, en la subregión externa al sur oeste de la región costa, donde el clima es fresco, seco y las precipitaciones empiezan desde enero hasta abril.

1.2.2 Análisis estadístico de precipitaciones en Guayaquil

Para el presente análisis estadístico de las precipitaciones en Guayaquil, se trabajó con los datos históricos del portal web del Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada (INOCAR), el que ofrece al público registros meteorológicos de todas sus estaciones, una de ellas ubicada en la ciudad de Guayaquil con registros desde el año 2009 hasta el presente año; dicha estación ubicada en Guayaquil fue usada para el análisis estadístico, pues registra valores de precipitaciones mensuales acumuladas de cada año.

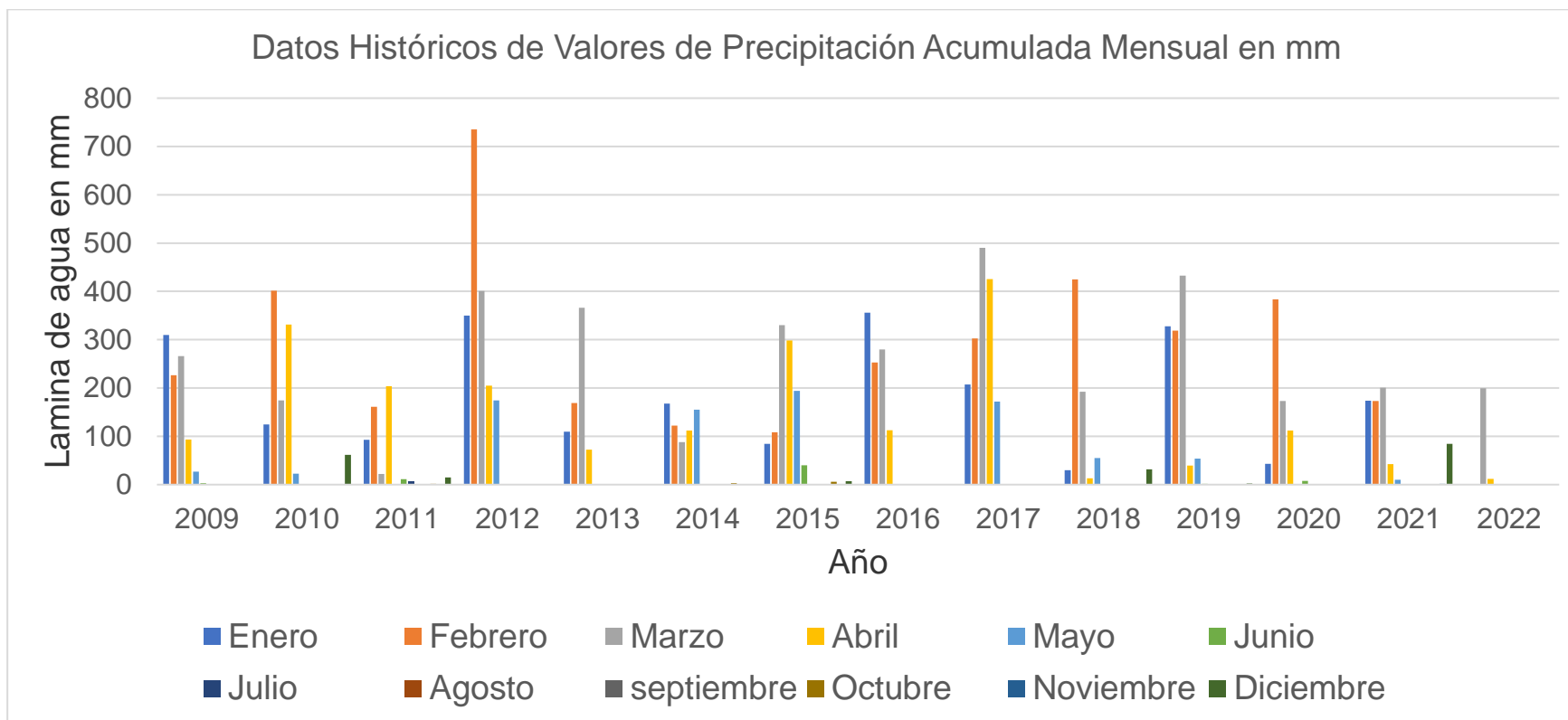
En la Tabla 1, se ordenaron las precipitaciones acumuladas mensuales desde el 2009 hasta el 2022, lo que fue obtenido del portal web del INOCAR, posteriormente, se plasmaron los datos en un gráfico de barra para mayor apreciación.

Tabla 1. Datos históricos de precipitaciones en Guayaquil

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2009	309,5	226,7	266,1	93,5	26,9	2,9	0	0	0			
2010	124,3	401,5	174,4	331,6	22,7	0	0	0	0	0	0	61,8
2011	92,8	161,2	21,9	203,5	0	11,5	7,2	0	0	1,8	0	15
2012	350,2	735,5	400,8	204,8	174	0	0	0	0	0	0	0
2013	109,3	169,2	365,8	72,6	1,3	0	0	0	0	0	0	0
2014	167,8	122,1	87,8	111,8	155,2	0	0	0	1,2	2,6	0	0
2015	84,3	108,4	330,2	298,6	193,9	39,8	0	0	0	5,9	0	6,8
2016	356,1	253,1	279,9	112,8	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	207,4	302,3	490	425,2	172	0	0	0	0	0	0	0
2018	29,8	425,1	192,5	12,8	55	0	0	0	0	0	0	31,8
2019	327,7	318,8	432,8	39,6	54,1	1,9	0	0	0	0	1,2	2,5
2020	43,3	383,3	173	111,7	0	7,7	0				0	0
2021	173,6	172,9	200,5	42,6	10	0	0	0	0	0	1,9	84,5
2022		0	199,3	11,8	0	0						

Nota. Los datos fueron ordenados mensualmente por cada año obtenido de la página web del INOCAR. Adaptado de *Home*, por INOCAR, s.f., <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php>

Figura 2. Histograma de precipitaciones históricas en Guayaquil



Nota. Los datos históricos fueron obtenidos de la página web del INOCAR. Adaptado de *Home*, por INOCAR, s.f., <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php>

Al analizar los datos estadísticos, se observó que, por lo general, las épocas de lluvias en Guayaquil empiezan desde enero hasta finales de abril, asimismo, en algunos años empiezan desde diciembre con poca intensidad, así, las corrientes del Niño y Humboldt dominan en la región costa específicamente, en consecuencia, en la subregión costa sur oeste donde está ubicada la ciudad de Guayaquil, dichas corrientes de masas de aire calientes y frías generan humedad que provoca las lluvias; según la velocidad vertical de masas de aire, es el grado de intensidad de las precipitaciones en Guayaquil durante esas épocas.

Conforme con la Figura 2, es notable que los años de mayor intensidad de lluvias fueron 2012 y 2017, con alturas de lámina de agua en la estación pluviométrica de 735,5 mm y 490 mm, respectivamente.

1.2.3 Influencia de las precipitaciones en el cerro San Eduardo

Las lluvias en Guayaquil, especialmente, las de alta intensidad en las épocas de lluvias que van de enero hasta abril, son un factor climático importante en la inestabilidad de taludes del cerro San Eduardo y en todos los cerros de Guayaquil, pues estas lluvias, además de afectar la estabilidad del talud del cerro, pueden provocar el colapso del mismo, lo que lleva a deslizamientos de masas superficiales o deslizamientos por bloques de grandes masas por fallas internas en los planos de fallas del talud.

Como consecuencia de las lluvias, parte de las precipitaciones que caen en el talud quedan en la superficie, lo que genera escorrentías superficiales y otras que se infiltran, lo que es riesgoso para la estabilidad del talud, debido a que, cuando las precipitaciones se infiltran hasta los planos de falla, provocan una presión de poro en el área de contacto del plano falla; dicha presión de poro genera una supresión que contrarresta las fuerzas que se oponen al deslizamiento, lo que disminuye su resistencia al corte al volverlo vulnerable al colapso.

1.3 Asentamientos informales en la ciudad de Guayaquil

Los asentamientos informales, desde sus orígenes, surgieron debido a la desigualdad de modernización del sector productivo y las falencias en su sistema, como la disminución de umbral de viviendas, la crisis del sistema productivo, los desempleos por desarrollo tecnológico implementado en sistemas de producción y los niveles bajos de reinversión para producción de recursos (Rojas et al., 1989). Por ello, la población afectada, específicamente personas de bajos recursos, migran a ciudades metropolitanas, sea en las regiones costa, sierra u oriente del Ecuador.

Según Rojas et al. (1989), la crisis de los años veinte que se mantuvo en las décadas siguientes en el Ecuador afectó la economía del país, lo político y lo social, lo que se reflejó en la deteriorización de las clases sociales de bajos recursos e incrementó la migración campesina y la pobreza urbana de los suburbios y barrios, los que se movilizaron a Guayaquil; debido a este acontecimiento y ante una restringida expansión urbana de la ciudad de Guayaquil, se vio comprometida la demanda del suelo urbano de la ciudad como resultado de las migraciones internas en los años 1930 a 1950.

Estas demandas apuntaban a terrenos municipales, pues eran los más accesibles a pesar de ser los menos aptos, porque eran protegidos física y legalmente, por lo tanto, del desarrollo y el crecimiento de los suburbios urbanos de Guayaquil fueron responsables los organismos municipales principalmente, por otra parte, las campañas políticas mediante el clientelismo político tuvieron un papel importante en este acontecimiento (Rojas et al., 1989).

Conforme con Mora (2020), en la ciudad de Guayaquil, los asentamientos informales se iniciaron desde 1950 en el suburbio suroeste, así como Guasmo (1970), así, en la misma década surgieron Mapasingue y Prosperina, Cooperativa 25 de Julio ubicada en cerro San Eduardo (1982), Bastión Popular (1986) e Isla Trinitaria contemporánea con la Cooperativa Virgen del Cisne ubicada en cerro San Eduardo (1990).

1.3.1 Comunidades del cerro San Eduardo

En el cerro San Eduardo existen zonas urbanas y vial, además de zonas recreativas como el bosque seco protector cerro El Paraíso, miradores y senderos; actualmente, es habitado por comunidades establecidas como la Cooperativa 25 de Julio y Virgen del Cisne, las que surgieron como asentamientos informales y están ubicados cerca del túnel cerro San Eduardo, en conjunto, existe alrededor de 5 100 habitantes (2017), así como otras zonas urbanas ubicadas en la parte baja del cerro San Eduardo cercanas al Estadio Monumental “zona cerro San Eduardo monumental”.

1.3.2 Problemática socioambiental

Debido a la ubicación geográfica del cerro San Eduardo y sus comunidades asentadas, específicamente, las Cooperativas 25 de Julio y Virgen del Cisne ubicadas dentro de una zona de riesgo mortal, por factores geográficos, geológicos y geotécnicos podrían desencadenarse una serie de sucesos que terminen en catástrofes naturales.

1.3.3 Consecuencias de la problemática socioambiental

Una de las consecuencias más probables implica los asentamientos de tierra, puesto que la civilización está sobre un suelo que fue usado como botadero de basura, por ende, este suelo es propenso a constantes asentamientos, más en épocas de lluvias.

Otra consecuencia importante son las caídas de rocas, aproximadamente, a 20 m de altura por desprendimiento de las mismas, igualmente, puede haber flujos de detritos o deslizamiento de material superficial debido a la erosión superficial del cerro por las lluvias.

Sin duda, otra consecuencia más peligrosa son los deslizamientos de grandes masas de material, esto por el colapso de fallas del talud del cerro San Eduardo, lo que es incitado por factores internos y externos que afectan la estabilidad del talud de cerro.

Después de haber explicado las posibles consecuencias que dan origen a una problemática socioambiental debido a que el cerro es habitado por comunidades, se indagó el problema para proponer posibles soluciones.

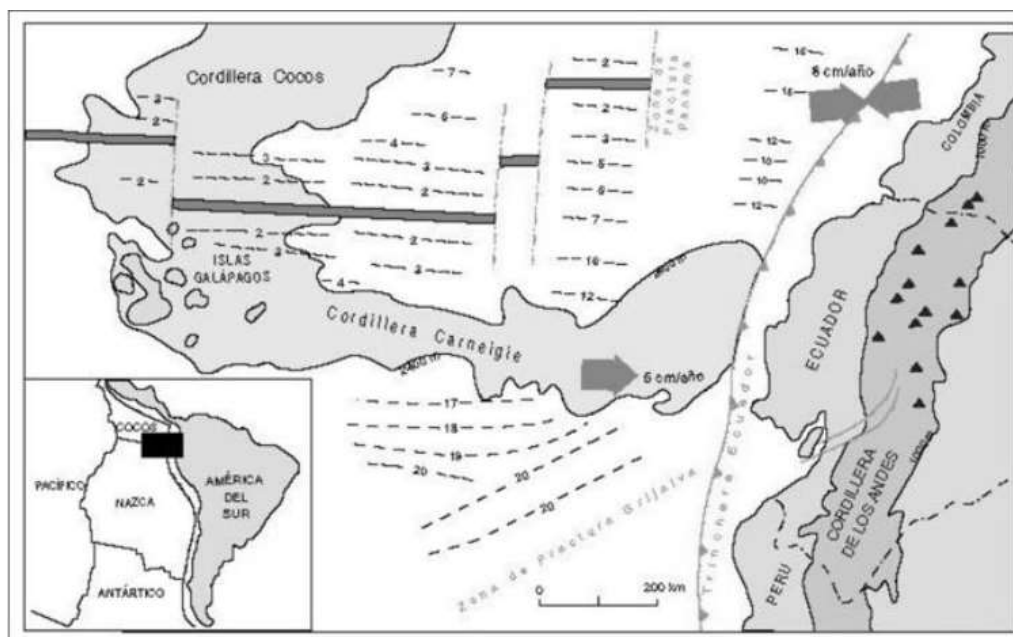
1.4 Marco tectónico-estructural costa

1.4.1 Tectónica de placas

El Ecuador, el perfil costanero se encuentra ubicado sobre una configuración estructural tectónica de placas complejas, esto por tres condiciones críticas, desde el punto de vista tectónico, que lo rodean o subyacen.

Estas condiciones empiezan con la cercanía al punto caliente de las Galápagos, lo que indica una considerable actividad volcánica; en segundo lugar, se encuentra la dorsal oceánica o eje de divergencia, el que separa las placas de Cocos y Nazca y, en tercer lugar, en cuanto al punto de vista crítico-geológico, es la zona de subducción de la corteza oceánica respecto con el margen continental mediante la placa Nazca que, apoyada sobre la corteza oceánica, subduce por debajo del límite de la corteza continental en la que se asienta la placa sudamericana y el bloque Norandino. Por último, se encuentra la franja de deformación mejor conocida como “Sistema Mayor Dextral” (Chunga et al., 2020).

Figura 3. *Tectónica de placas oceánicas y continental*



Nota. Tectónica de placas que rodean o subyacen al Ecuador. Adaptado de *Análisis petrográfico de los cerros de bellavista y San Eduardo, Guayaquil, Ecuador*, por M.E. Mata y A.G. Macias, 2021, <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52338>

1.4.2 Regiones morfológicas del Ecuador

El Ecuador, según Vallejo et al. (2019), está dividido en cinco regiones morfo-tectónicas: las zonas antearco, costa, la Cordillera Occidental, el Valle Interandino, la Cordillera Oriental, la Cuenca Oriente y Región Subandina, las que surgieron como consecuencia de la falla geológica de subducción entre las placas de Nazca y sudamericana sobre las que se asienta el territorio o región.

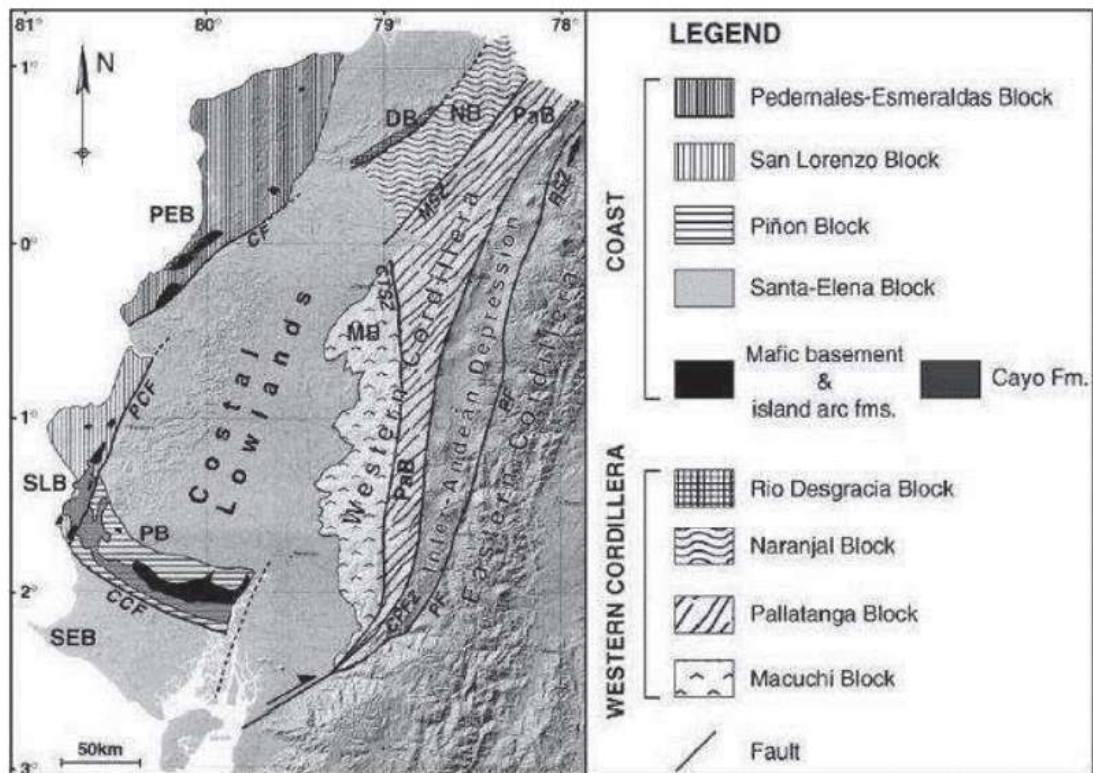
1.4.3 Zona de antearco

La zona de antearco está ubicada al oeste de la cordillera de los Andes a 600 m sobre el nivel del mar y está conformada por el Océano Pacífico y los Andes, con una longitud lateral de 200 km. La zona de antearco está conformada por dos zonas importantes y separadas por formaciones geológicas, una de ellas es la falla Chongón – Colonche junto con la cuenca de Manabí (Étienne et al., 1995).

1.4.4 Geología de zona de antearco

Vallejo et al. (2019) señalaron que la zona antearco está conformada por el Bloque Piñón, el que aflora y se puede encontrar en la Cordillera Chongón-Colonche en la ciudad de Guayaquil; además del Bloque Piñón, también está constituida por más formaciones, como la Formación Cayo (Guayaquil), la Formación San Lorenzo (Cuenca Manabí), la Formación Santa Elena (Península Santa Elena), la Formación Zapotal, la Formación Dos Bocas, Villingota, El Consuelo, Sube y Baja, Onzole y Progreso.

Figura 4. Mapa tectono-estratigráfico de zona antearco



Nota. El mapa muestra la zonificación de formaciones geológicas sobre la zona de antearco. Tomado de *Caracterización geológica y geofísica de la zona oeste de la concesión minera Mompiche, ubicada en la provincia de Esmeraldas, cantón Muisne, recinto Mompiche*, por J.C. Díaz, 2013, <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6919/1/CD-5186.pdf>

1.5 Geología de la zona de estudio

El cerro San Eduardo presenta una topografía montañosa con elevaciones de hasta 1000 m de altura, lo que se orienta al este de la región costa próxima al límite con la región Andina, además, la región costa está conformada por valles y ríos que la atraviesan provenientes de las Cordilleras de los Andes en dirección hacia el océano Pacífico; cabe mencionar que esta región está comprendida por las cordilleras costaneras de Jama, Chongón Colonche, Mache Chindul, Balzar y Cojimíes (Mata y Macias, 2021).

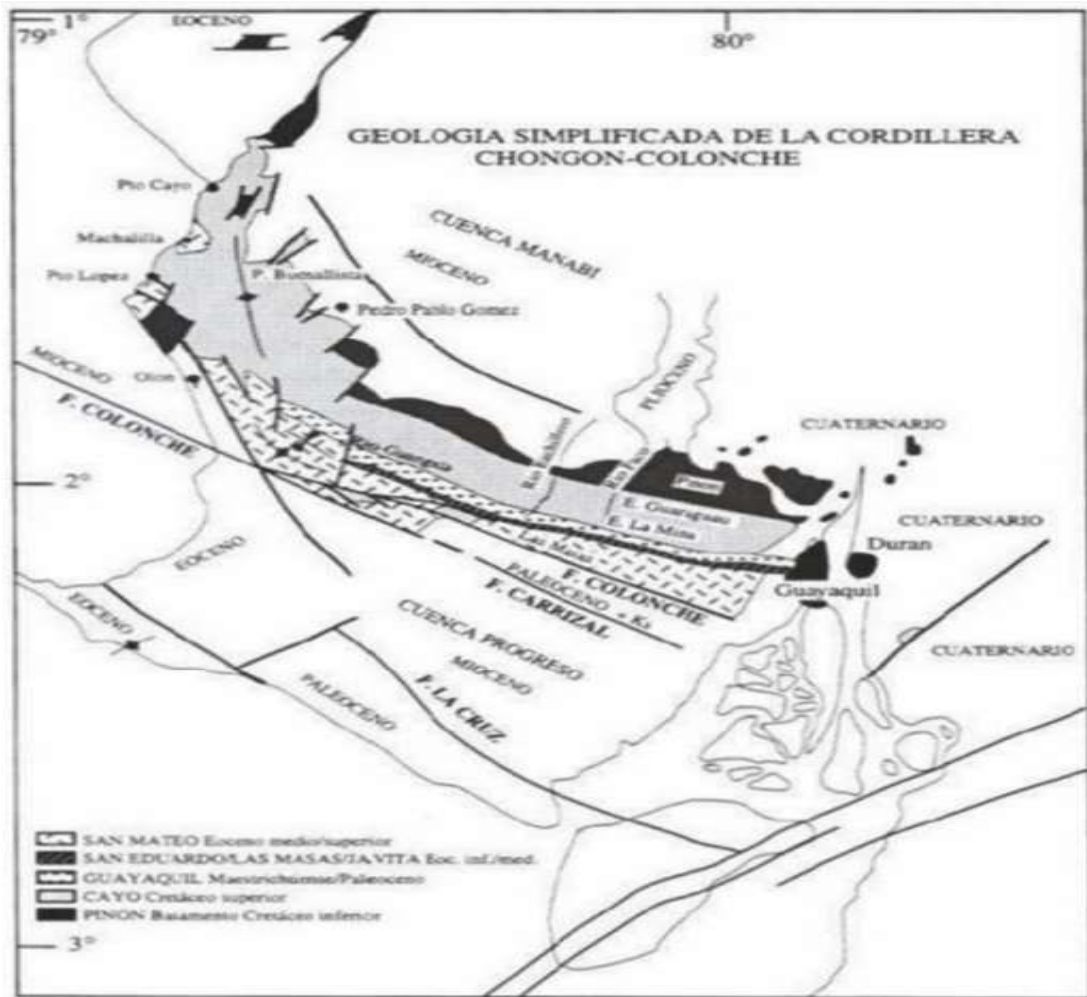
La zona de estudio está ubicada en la zona de antearco o costa, específicamente, en la zona antearco costa-sur conformada por formaciones Piñón, Cayo, Guayaquil, Calentura, entre otras. Según Chunga et al. (2020), en la zona de estudio predominaban rocas volcánicas y rocas sedimentarias en el tiempo geológico de la Edad Cretácica, las que pertenecen a las formaciones Piñón, Cayo y Guayaquil.

1.5.1 Cordilleras Chongón-Colonche

La Cordillera Chongón Colonche (CCC) se encuentra ubicada al norte de la península de Santa Elena en el cuadrante noroeste del área metropolitana de la ciudad de Guayaquil, con una extensión de 330 km de largo por 10 km de ancho, aproximadamente, por otra parte, la CCC es una cadena de montañas con un relieve topográfico de cotas variables en su altitud, sin embargo, posee una altitud promedio aproximada entre 400 m y 600 m y, en sus picos más altos, tiene una altura de 700 m (Viteri, 2022).

Conforme con Núñez (2003), la CCC está conformada por rocas ígneas y de la categoría de rocas volcánicas y plutónicas pertenecientes a su geomorfología, la que se compone, principalmente, por las formaciones Piñón, Cayo, San Eduardo, Guayaquil, entre otros. Por otra parte, en cuanto a su ubicación, la CCC empieza desde zona noroeste de Guayaquil hasta el sector Olón-Pedro Pablo Gómez y con un rumbo de N100° (Viteri, 2022).

Figura 5. Mapa geológico de la Cordillera Chongón Colonche



Nota. Adaptado de *Estudio de la correlación de las propiedades físicas y mecánicas de aluminosilicato de la cordillera Chongón-Colonche como sustituto parcial del cemento*, por A.D. Viteri, 2022, <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/35917/1/Tesis%20I.C.%201602%20-%20Viteri%20Acosta%20Alvaro%20Daniel.pdf>

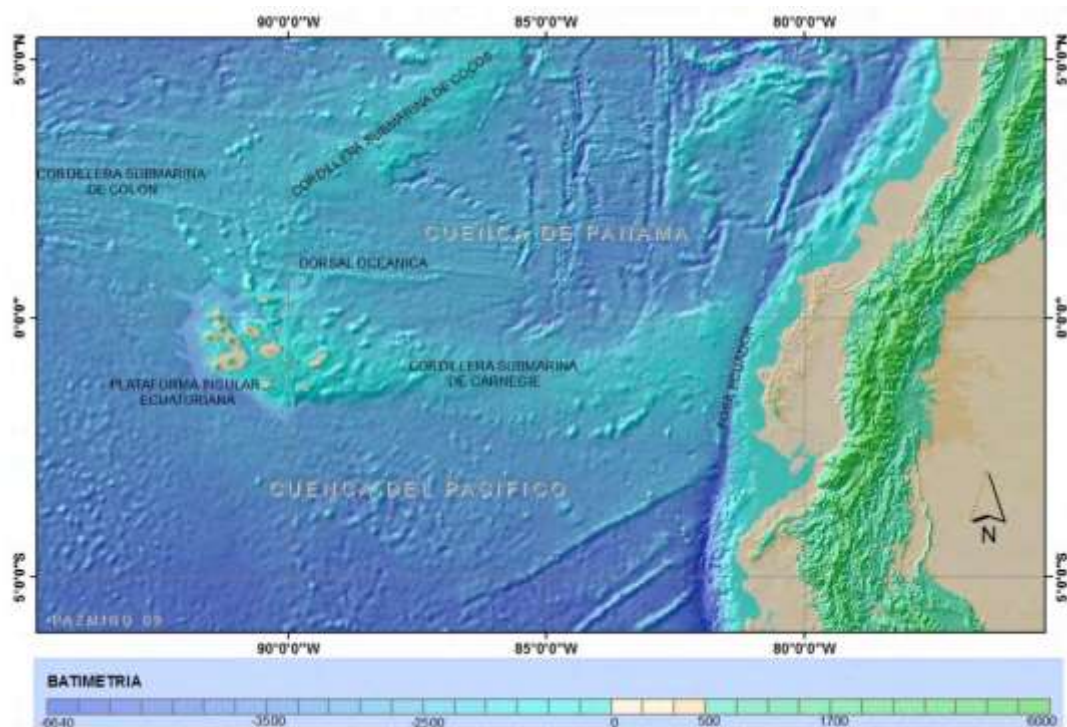
1.5.2 Cordillera submarina de Carnegie

La Cordillera de Carnegie (CC) está ubicada sobre la placa de Nazca que se desplaza con una velocidad de 6 cm por año en una dirección este-oeste respecto con la placa sudamericana (Trenkamp et al., 2002 como se citó en Michaud et al., 2006). La CC, debido a su cercanía con el punto caliente de Galápagos y el centro de esparcimiento de las placas Cocos-Nazca, y por sus constantes interacciones durante el Neógeno, tuvo la formación de estas

cordilleras de Cocos y Carnegie (Hey, 1977; Lonsdale y Klitgord, 1978 como se citó en Michaud et al., 2006), lo que alteró el espesor de la corteza oceánica que va de 13 y 19 km (Sallares y Charvis 2003; Graindorge et al., 2004 como se citó en Michaud et al., 2006).

La CC se encuentra ubicada, geográficamente, en la provincia volcánica de Galápagos, con una extensión de 282 km desde el norte hasta el sur y 1045 km desde el este hasta el oeste, con área de 325 km cuadrados aproximadamente. La CC tiene una forma alargada que va del este-oeste y está dividida por la existencia de un área de depresión, dejando como resultado la CC este, la depresión central de la CC y la CC oeste (Pazmiño y Michaud, 2009).

Figura 6. Mapa morfológico submarino del Ecuador



Nota. Tomado de *Descripción de los Sedimentos Marinos en la Cordillera Submarina de Carnegie*, por N.Pazmiño y F.Michaud, 2009, https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-11/010051362.pdf

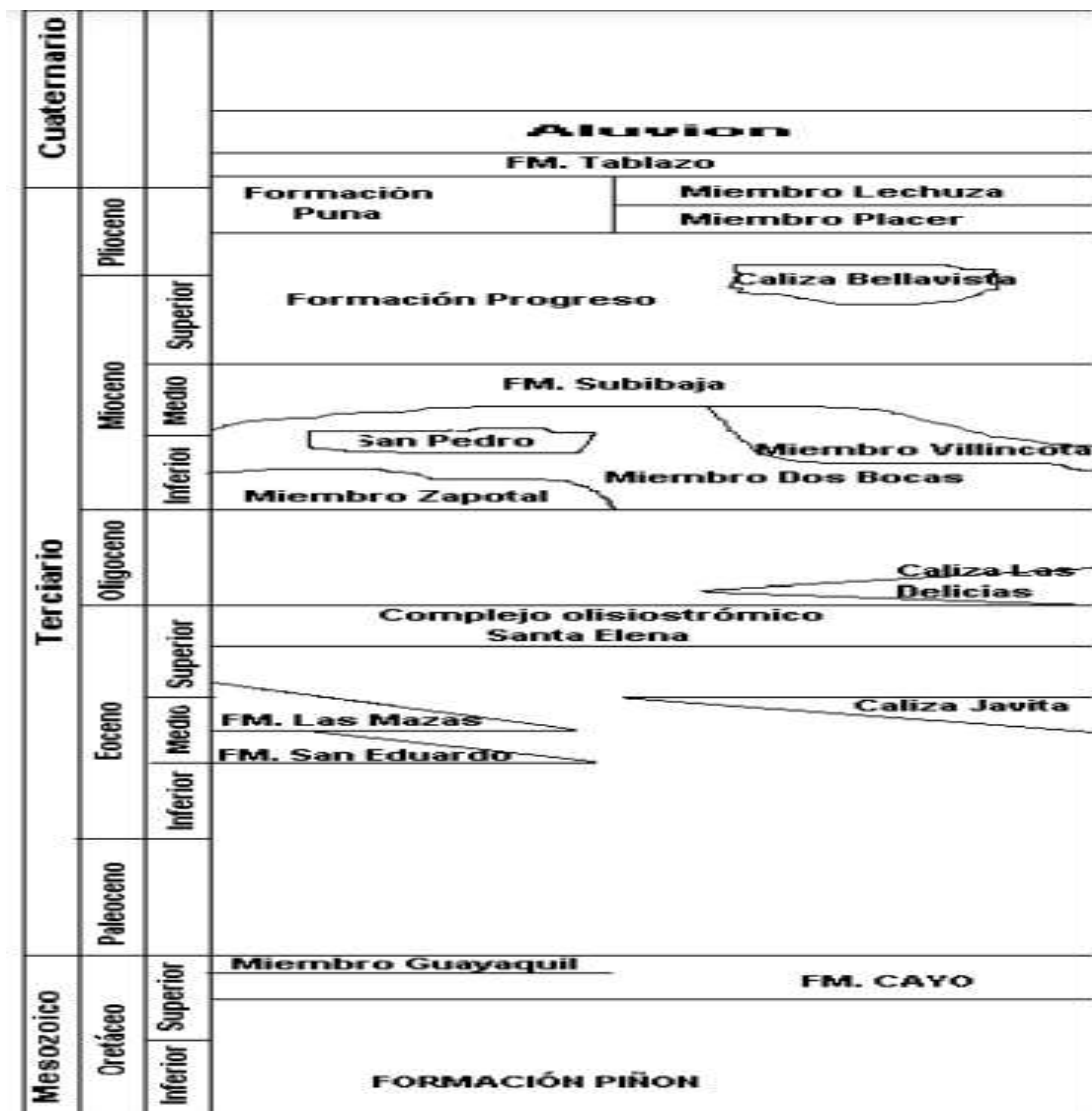
1.5.3 Formación Cayo

La formación Cayo pertenece al periodo temporal geológico del Cretácico Superior, cuyo nombre fue asignado por Olsson en 1942; así, se encuentra ubicada en las orillas sur de la bahía de Cayo al suroeste de Puerto Cayo. Existen cinco miembros de la formación Cayo, dos ubicados en la Cuenca de Manabí y tres miembros al sur, específicamente, en la Provincia del Guayas (Aracel y García, 2011).

La formación Cayo aflora sobre la formación Piñón y se ubica con una transición gradual en el Miembro Guayaquil; el miembro inferior equivale al Cayo s.s. conformada por estratos de grauvacas y el miembro superior pertenece al miembro Guayaquil conformado por capas de areniscas finas y lutitas-tobáceos. El miembro inferior pertenece a la provincia del Guayas, pues es una secuencia de estratos masivos con espesores variables de grauvacas alternando con capas finas de lutitas tobáceos con presencia de silíceas (Proaño, 2009).

La formación Cayo posee espesores de hasta 3 000 m, aproximadamente, de sedimentos compactos y de mayor dureza, además de tener una resistencia a la erosión, de este modo, dichos sedimentos se conforman por pizarras arcillosas y tobáceas altamente sílicificadas con un color verdoso oscuro a gris verduzco, por otra parte, contienen areniscas bastas, arenosas, tobáceas y brechas volcánicas finas (Aracel y García, 2011).

Figura 7. Columna estratigráfica en el tiempo geológico



Nota. Adaptado de *Geología*, por G. Proaño, 2009, <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6367/10/4.GEOLOGIA.pdf>

1.5.4 Formación Piñón

Se determinaron tres acontecimientos históricos en el desarrollo o evolución de la Costa Ecuatoriana durante el periodo geológico del Cretáceo Superior al Terciario, teniendo como primer acontecimiento la creación de la formación Piñón que es parte de la corteza oceánica como resultado de la precolisión; como segundo suceso se halla la colisión del margen de la placa continental y la formación Piñón en el límite del Paleoceno-Eoceno, lo que

resultó en deformaciones y rotaciones de los bloques de Piñón y placa continente, por último, como tercer hecho en la región costa, por debajo de la placa sudamericana, se originó la zona antearco como resultado de la subducción entre las placas de Nazca y sudamericana (Benítez, 1995).

La formación Piñón está conformada por rocas de origen oceánico pertenecientes a la corteza de la Costa del Ecuador, así, se denominan rocas “básicas” a los basaltos, diabasas y gabros, así como menos presencia de plutones “ultra básicos” y ácidos denominados como “complejo ígneo básico” (Goznes y Rose, 1973 como se citó en Chacón, 2018). Dichos tipos de roca surgen en la CCC y en varias regiones de la Cordillera de la Costa (Chacón, 2018).

1.5.5 Formación Guayaquil

La formación Guayaquil pertenece a la era geológica del Mesozoico del periodo Campaniano en transición al Maastrichtiano, cuando se sedimentó dicha formación sobreyaciendo a la formación Cayo (van Melle et al., 2008).

La ubicación de la formación Guayaquil tiene lugar en la Vía Perimetral de Guayaquil al norte desde la intersección de la Vía Salinas, donde se avista una gran sección completa de la formación Guayaquil en la cúspide de Cerro Azul (Chunga et al., 2020).

La formación Guayaquil, en cuanto a su litología, está conformada por argilitas sílicificadas de color café grisáceo y capas de chert, así como lutitas silíceas amarillentas a rojizas según el grado de alteración por la meteorización (Sánchez et al., 2017).

1.6 Sismicidad histórica en la ciudad de Guayaquil

Guayaquil es una ciudad con un historial y actividad sísmica importante como consecuencia de su ubicación, pues está sobre una compleja configuración morfo-estructural de placas tectónicas, principalmente por estar ubicada sobre la zona de subducción entre las placas Nazca y sudamericana.

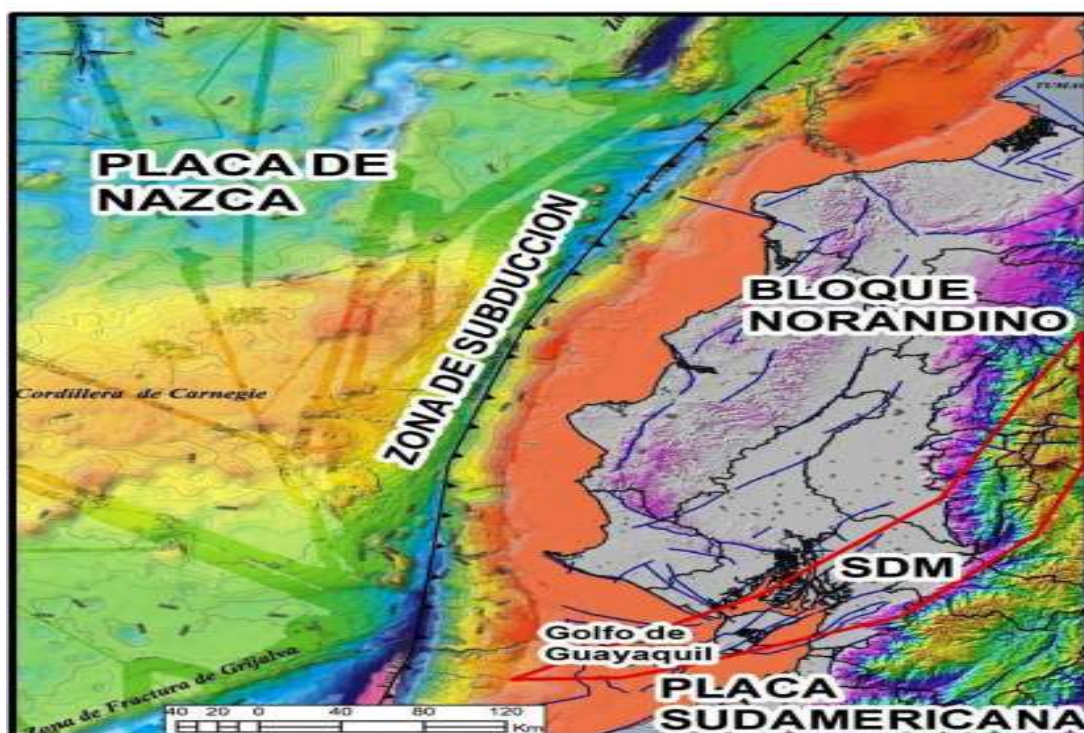
La ciudad de Guayaquil está ubicada sobre una zona de subducción, lo que representa una alta sismicidad, esto debido a los mecanismos internos de la fosa o trinchera de subducción. Según Chunga y Quiñónez (2013), un efecto importante ocurre en el prisma de acreción adyacente al margen de la fosa o trinchera de subducción, en la que se producen mecanismos de fallas inversas con ángulos menores de cerca de 70 km de longitud, lo que podría indicar una potencial estructura sismogénica o las denominadas “fallas *megasplay*”.

Así, como consecuencia de los mecanismos internos se podrían generar sismos de magnitud 7.8 Mw (en la escala de Richter) o mayores, por la liberación de energía en las fallas inversas mencionadas.

Los terremotos de subducción de la costa sur de Ecuador, a lo largo de la historia, han tenido gran impacto en Guayaquil, como fue el sismo registrado el 13 de mayo de 1942 de magnitud 7.9 Mw en la escala de Richter con su epicentro ubicado frente a la costa de Manabí a 205 km de distancia de la ciudad de Guayaquil, el que causó daños estructurales en muchas edificaciones de la ciudad (Argudo et al., 1993; Chunga y Quiñónez, 2013).

El sismo del 16 de abril del 2016 es recordado por las personas, por las grandes pérdidas materiales y de vidas humanas, pues tuvo una magnitud de 7.8 Mw en la escala de Richter y rasgos cosísmicos parecidos a los del terremoto del 1942 con una magnitud de 7.9 Mw en la escala de Richter, así, pertenecen a la misma mecánica estructural sismogénica (Chunga, 2016).

Figura 8. Tectónica de placas de la zona de subducción

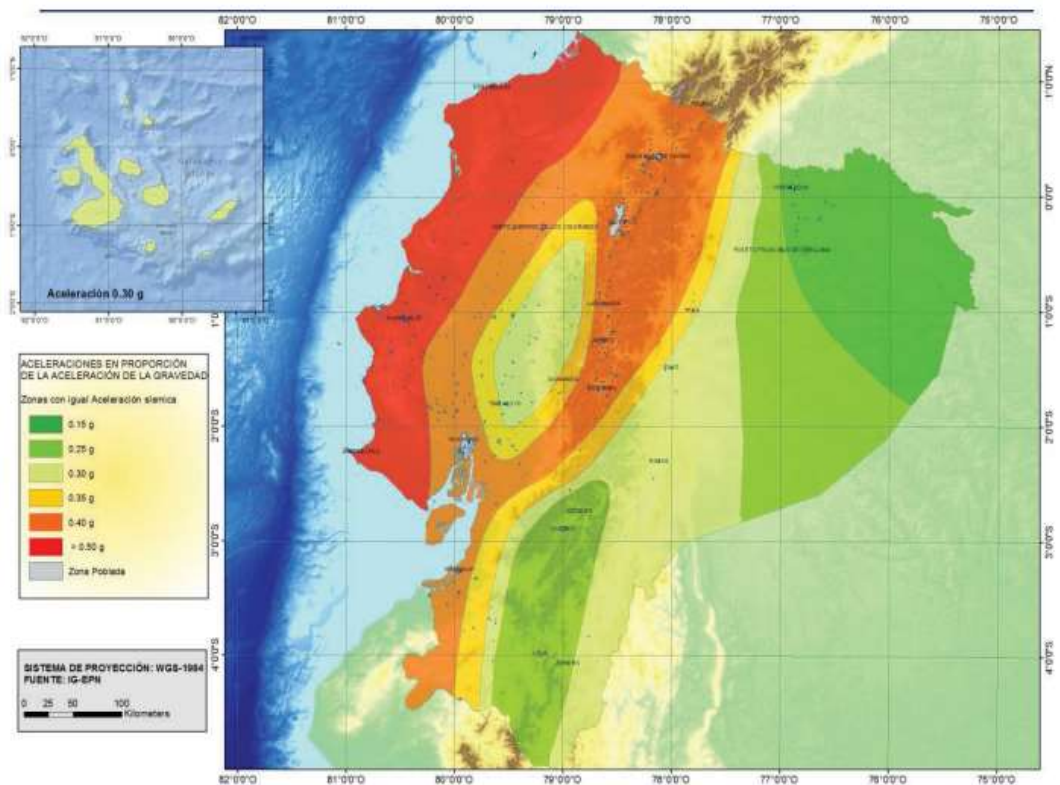


Nota. Tomado de *Geología de terremotos y tsunamis*, por K. Chunga, 2016, https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Garces-3/publication/309478442_Geologia_de_Terremotos_y_Tsunami_ECUADOR/links/58d3d041458515e6d90311ee/Geologia-de-Terremotos-y-Tsunami-ECUADOR.pdf

1.6.1 Influencia sísmica de la ciudad de Guayaquil en el cerro San Eduardo

Según el mapa de zonificación sísmica y factor de zona z para diseño, la zona de estudio “Cerro San Eduardo” pertenece a un factor de zona $z = 0,4$, lo que afirma que la zona de estudio está sobre una zona sísmica importante del Ecuador.

Figura 9. Mapa de zonificación sísmica del Ecuador



Nota. Tomado de *Peligro sísmico: diseño sismo resistente*, por Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015, https://www.ecp.ec/wp-content/uploads/2017/09/NEC_SE_DS_peligro-sismico.pdf

1.7 Estabilidad de taludes

La estabilidad de un talud o ladera es la condición externa e interna del talud que influye en el comportamiento del mismo, lo que representa que el talud permanece con movimiento o sin movimiento; tales condiciones dependen de muchos factores, como las propiedades geológicas, los sismos, la geometría del talud, el clima y la meteorización.

1.7.1 Talud y tipo de taludes

Se denomina talud a una superficie inclinada respecto con la horizontal, en este caso, al suelo, así, un talud puede ser natural al hacer parte de formaciones geológicas como montañas, cerros, entre otros, por otra parte, pueden ser taludes artificiales que son construidos por el hombre en sus obras ingenieriles, un ejemplo es la construcción de carreteras para las que se

realizan rellenos o excavaciones, lo que genera los taludes de los terraplenes por las excavaciones o cortes.

1.7.2 Factor de seguridad

Suárez-Burgoa (2015) explicó que es un índice o indicador que asegura la calidad o el buen comportamiento de un talud en diseño, asimismo, es usado para evaluar el estado de estabilidad de un talud existente; dicho indicador parte de la teoría del método de equilibrio límite para el análisis de taludes y expresa una relación entre los esfuerzos resistentes que se oponen al movimiento o deslizamiento, los que son analizados a lo largo de una superficie de rotura contra los esfuerzos deslizantes, lo que va a depender de esfuerzos que provocan movimiento en la dirección de la zona de rotura.

1.7.3 Características resistentes de un talud

Como explicaron Ayala y Andreu (1987), en los diferentes métodos aplicables para cada tipo de fallas en un talud, se asume que la resistencia intrínseca y tangencial máxima dentro del plano de falla o deslizamiento se comporta según la ley lineal de Mohr-Coulomb, cuya expresión está dada por lo siguiente:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi$$

Donde:

τ : esfuerzo tangencial o cortante en el plano de falla.

σ : esfuerzo normal al plano de falla.

c : cohesión de la superficie de falla.

φ : ángulo de fricción interno de la superficie de falla.

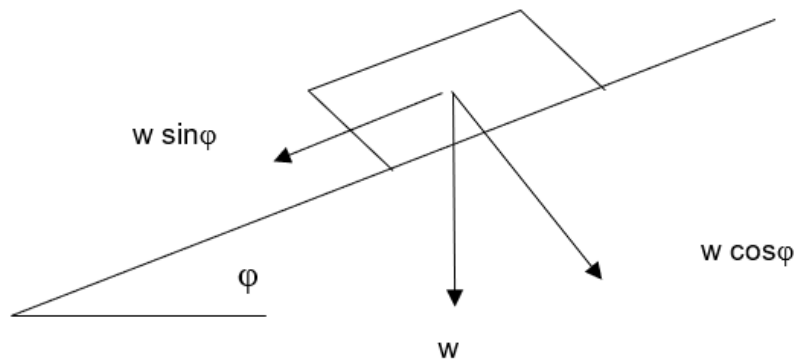
Cabe mencionar que la ley de Mohr-Coulomb solo es válida si el deslizamiento, producto del colapso de la falla, es provocado por masas de suelos y en macizos rocosos producidos; en este último, el deslizamiento es provocado desde planos de discontinuidades de la matriz rocosa de la que los parámetros de resistencia son analizados y extraídos del plano de discontinuidad de la roca, los que son diferentes a los de la roca en general.

1.7.4 Generalidades de estática

1.7.5 Deslizamiento debido a una carga gravitatoria

En consideración con un bloque de peso W ubicado sobre una superficie inclinada con ángulo φ :

Figura 10. Mecanismo de fuerzas actuantes y resistentes



Nota. La figura describe las fuerzas y componentes de fuerzas del bloque sobre la superficie inclinada. Tomado de Estabilidad de taludes en rocas y suelos, por F.A. Ríos, 2013, https://www.researchgate.net/publication/324507337_Estabilidad_de_taludes_y_laderas_Analisis_cuantitativo_y_cualitativo

El bloque actúa en función de la gravedad, por esto, el vector del peso W es perpendicular hacia abajo y este se descompone en las componentes: $W_x = w \cos \varphi$ y $W_y = w \sin \varphi$.

Por lo tanto, el esfuerzo normal (perpendicular a la superficie inclinada) es $\sigma_n = \frac{w \cos \varphi}{A}$ (1), donde A es el área de contacto del bloque en la superficie. Se asume que la resistencia al corte de la superficie inclinada está dado por $\tau = \sigma_n \tan \varnothing$ (2), donde \varnothing es el ángulo de fricción interna, sustituyendo (2) en (1) para obtener:

$$\tau = C + \frac{w \cos \varphi}{A} \tan \varnothing$$

$$A \tau = A C + \cos \varphi \tan \emptyset$$

Donde:

$$R = A \tau \text{ (Fuerza resistente al deslizamiento en dirección del plano)}$$

Cuando las fuerzas de deslizamiento son iguales a la fuerza que se opone al deslizamiento, se obtiene lo siguiente:

$$w \operatorname{sen} \varphi = A C + w \cos \varphi \tan \emptyset$$

Y de no haber cohesión:

$$w \operatorname{sen} \varphi = w \cos \varphi \tan \emptyset$$

$$\frac{w \operatorname{sen} \varphi}{w \cos \varphi} = \tan \emptyset$$

$$\tan \varphi = \tan \emptyset$$

$$\varphi = \emptyset$$

1.7.6 Resistencia al corte de los suelos

Para el análisis de estabilidad de taludes, es importante evaluar y determinar la resistencia al corte, además del estado tensional interno del suelo, debido a que es inevitable que ocurran estos esfuerzos cortantes, sean suelos naturales o artificiales; en el caso de suelos naturales, la condición es que la muestra extraída del suelo para ser evaluada sea una muestra inalterada, lo que se obtiene mediante ensayos de suelos establecidos, por otra parte, para suelos artificiales, la muestra debe mantener las condiciones del sitio del que se extrajo, es decir, debe conservar la densidad y la humedad propias de la muestra (Ayala y Andreu, 1987).

1.7.7 Presión de poro en la resistencia al corte

Como consecuencia de la infiltración de agua en el suelo, en el caso de un suelo rocoso, esta infiltración de agua se da a través de grietas, fisuras y planos de discontinuidad o planos de falla de la matriz rocosa, para luego almacenarse como un cuerpo de agua en dichos planos de discontinuidad, lo que genera una supresión que trata de levantar la roca; según Ayala y Andreu (1987), a este efecto se le denomina "presión intersticial" (u), la tensión

absorbida por el cuerpo de agua, dado que el agua no resiste esfuerzos cortantes y solo tendrá esfuerzo normal.

Este efecto de presión intersticial fue sintetizado en una fórmula por Terzaghi en 1925, la que es conocida como “la ley de la presión efectiva” que se expresa de la siguiente manera:

$$\sigma' = \sigma - u$$

Sin embargo, esta presión intersticial disminuye el esfuerzo resistente al corte de la roca, debido a que afecta, directamente, el esfuerzo normal de la misma, lo que lo reduce y disminuye el esfuerzo cortante convirtiéndolo en un nuevo esfuerzo cortante efectivo, tal como indica la fórmula.

En cuanto a la cohesión y ángulo de rozamiento, según el contenido de los materiales o suelos, algunos solo poseen un componente de resistencia friccional, esto por la rugosidad entre superficies, y otros solo tienen un componente cohesivo debido a las atracciones electroquímicas en el punto de contacto entre partículas. Por otra parte, respecto con la resistencia cortante global, la componente de resistencia por la cohesión no tiene un papel importante en suelos que tienen resistencia friccional, esto como consecuencia del ángulo de rozamiento interno, porque la resistencia aumenta conforme incrementa la presión de confinamiento (Ayala y Andreu, 1987). Este sistema de resistencia cortante efectivo se sintetiza mediante una fórmula denominada la relación de Coulomb (1773) expresada del siguiente modo:

$$\tau = c' + \sigma' \tan \varphi'$$

1.7.8 Presión de agua en grieta de tensión

Las grietas de tensión son generadas por esfuerzos de tensión en el suelo, lo que ocurre en suelos rocoso; estas grietas se producen en las coronas de los taludes y con dirección vertical hacia adentro de la roca tratando de separarla, es aquí donde el agua se infiltra por estas grietas y almacena cuerpos de agua en el interior de la roca, provocando un empuje por la presión de agua, lo que hace que aumenten las fuerzas de deslizamiento en los planos de falla, asimismo, puede que estas grietas

verticales conduzcan el flujo de agua hacia la intersección con los planos de falla de la roca, entonces, se sumaría la supresión que genera el agua a la roca disminuyendo su esfuerzo normal y reduciendo la resistencia al corte de la matriz rocosa (Ríos, 2013).

1.7.9 Inestabilidad de taludes

La inestabilidad de un talud acontece en el momento en el que el talud es susceptible al movimiento, es decir, el talud tiene una baja resistencia al corte, por lo que sus fuerzas de rozamiento han disminuido debido a que sus propiedades físicas-resistentes y deformaciones han sido alteradas por factores como la lluvia, los sismos, la meteorización, entre otros.

Para que sea considerado un talud inestable, se deben analizar los factores condicionantes de movimiento de talud que vuelven inestable al mismo, esto son los factores geométricos, geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos.

Existen otros factores provocados por el hombre, los que se deben a obras ingenieriles como la construcción de un edificio, las excavaciones para construcción de cimientos, entre otros; estos tipos de obras ingenieriles traen consigo un efecto a lo largo del tiempo, pues alteran las condiciones iniciales del suelo, el que reacciona deformándose o fracturándose. A continuación, se detallan los factores condicionantes de movimiento de taludes y factores desencadenantes de movimiento de taludes.

Tabla 2. Factores condicionantes y desencadenantes de un talud inestable

Factores condicionantes de movimiento de taludes	Factores desencadenantes de movimientos de taludes
<ul style="list-style-type: none"> • Estratigrafía y litología. • Estructura geológica. • Condiciones hidrogeológicas y comportamiento hidrogeológico de los materiales. • Propiedades físicas, resistentes y deformaciones. • Tensiones naturales y estado tenso-deformacional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sobrecargas estáticas. • Cargas dinámicas. • Precipitaciones. • Meteorización • Variaciones en la geometría. • Reducción de parámetros resistentes.

Nota. Adaptado de *Ingeniería Geológica*, por L. Gonzáles et al., 2002

1.8 Factores condicionantes de movimiento de taludes

1.8.1 Estratigrafía y litología

La estratigrafía y la litología son características geológicas importantes que permiten tener un conocimiento acerca del origen y la formación geológica del talud en el caso de laderas conformadas por macizos rocosos, además de conocer si tiene, o no, planos de discontinuidad, lo que es un punto crítico donde la composición mineralógica, al tener deslizamiento a nivel de partículas, genera planos de falla y da origen al colapso por las fuerzas externas o internas del talud.

1.8.2 Estructura geológica

La estructura geológica es la matriz rocosa del talud donde la composición mineralógica del macizo rocoso brinda información de sus propiedades físicas que determinan su capacidad de resistencia y deformabilidad de la roca, esto en el caso de macizos rocosos competentes, además de conocer sobre su densidad, estructura y fábrica, porosidad, permeabilidad, alterabilidad, dureza, entre otros, las que son resultado de los procesos geológicos y tectónicos en las rocas. Por otro lado, en suelos más blandos gobierna la litología y la alterabilidad del suelo.

1.8.3 Condiciones hidrogeológicas y comportamiento hidrogeológico de los materiales

Las condiciones hidrogeológicas de un talud dependen de factores climáticos de la zona, específicamente, por precipitación intensa, moderada o leve, y en consideración con el tiempo de precipitación, pues esto influye en el nivel de saturación del suelo del talud, el que es un factor importante en el comportamiento hidrogeológico.

Dichos factores influyen en la estabilidad del talud haciéndolo más vulnerable y generando inestabilidad, así, al caer dicha precipitación al talud, se produce escurrimiento superficial influyendo en una posible erosión o arrastre del propio suelo, lo que lleva a posibles deslizamientos en el talud; una parte de la precipitación se va a infiltrar en el talud y dependerá de las características hidrogeológicas del suelo, como la permeabilidad que define el nivel freático.

Debido a la infiltraciones de lluvias, se pueden formar acuíferos en las escorrentías subterráneas, lo que puede provocar erosiones internas; estos efectos de las condiciones hidrogeológica influyen en el comportamiento hidrogeológico del suelo, puesto que se producen presiones intersticiales por la saturación del suelo, además de presiones hidrostáticas por el nivel freático, esto hace que aumenten las fuerzas de tracción en los planos de falla y en los planos de discontinuidad o grietas del suelo.

Según González et al. (2002), la presencia de agua en un talud reduce su estabilidad al disminuir la resistencia del terreno y aumentar las fuerzas tendentes a la inestabilidad. Sus efectos más importantes son los siguientes:

- Reducción de la resistencia al corte de los planos de rotura al disminuir la tensión normal efectiva.
- La presión ejercida sobre grietas de tracción aumenta las fuerzas que tienden al deslizamiento.
- Aumento del peso del material por saturación.
- Erosión interna por flujo subsuperficial o subterráneo.
- Meteorización y cambios en la composición mineralógica de los materiales.

- Apertura de discontinuidades por agua congelada.

1.8.4 Propiedades físicas, resistentes y deformacionales

La resistencia al deslizamiento de un talud producido por una rotura en el talud depende, básicamente, de la resistencia al corte en los planos de falla ubicados en grietas o planos de discontinuidad del suelo del talud; dicha resistencia al corte o de cizalla va a depender de los parámetros de resistencia del suelo: la cohesión y el rozamiento interno son dos parámetros importantes en la resistencia al corte del talud.

En el caso de suelos finos, los parámetros de resistencia al corte (cohesión y rozamiento) se determinan según la formación geológica del material del talud, así, en el caso de suelos rocosos, los parámetros de resistencia y deformacionales se basan en su litología y en las propiedades de los planos de discontinuidad de la roca.

1.8.5 Tensiones naturales y estado tenso-deformacional

“El estado tensional de un talud depende de su configuración geométrica y del estado de tensiones del macizo rocoso” (González et al., 2002, p. 4).

Las tensiones naturales de los macizos rocosos dependen de los factores geométricos del talud y sus esfuerzos residuales internos ocasionados de forma natural (sismo, erosión o meteorización, precipitación, entre otros), así, o pueden existir tensiones provocadas, por ejemplo, por excavaciones, esto suscita una descompresión en el talud provocando que el macizo rocoso falle en sus zonas más débiles, generalmente, en zonas de discontinuidad o grietas, lo que da como resultado un macizo rocoso fragmentado y transformado en un material granular provocando desmoronamientos del talud.

1.9 Factores desencadenantes de movimiento de taludes

1.9.1 Sobrecargas estáticas

Las sobrecargas estáticas son cargas externas estáticas ubicadas cerca o sobre el talud, así, son cargas provenientes de construcciones de estructuras o edificios, así como por paso de vehículos, rellenos o cualquier carga representativa en el talud o cerca del mismo. Estas cargas pueden llegar a generar inestabilidad o, si ya existe inestabilidad, aumentarla al modificar la distribución de fuerzas y sus condiciones de estabilidad inicial.

1.9.2 Cargas dinámicas

Las cargas dinámicas son originadas por sismos o vibraciones externas; en macizos rocosos fracturados, estas fuerzas dinámicas producen grietas en los planos de discontinuidad existentes, lo que aminora su resistencia al corte y genera desprendimientos por bloques del macizo rocoso. En sismos de mayor magnitud, por la presencia de estas cargas dinámicas instantáneas y de gran magnitud, se puede producir un colapso general en taludes con inestabilidad preexistente.

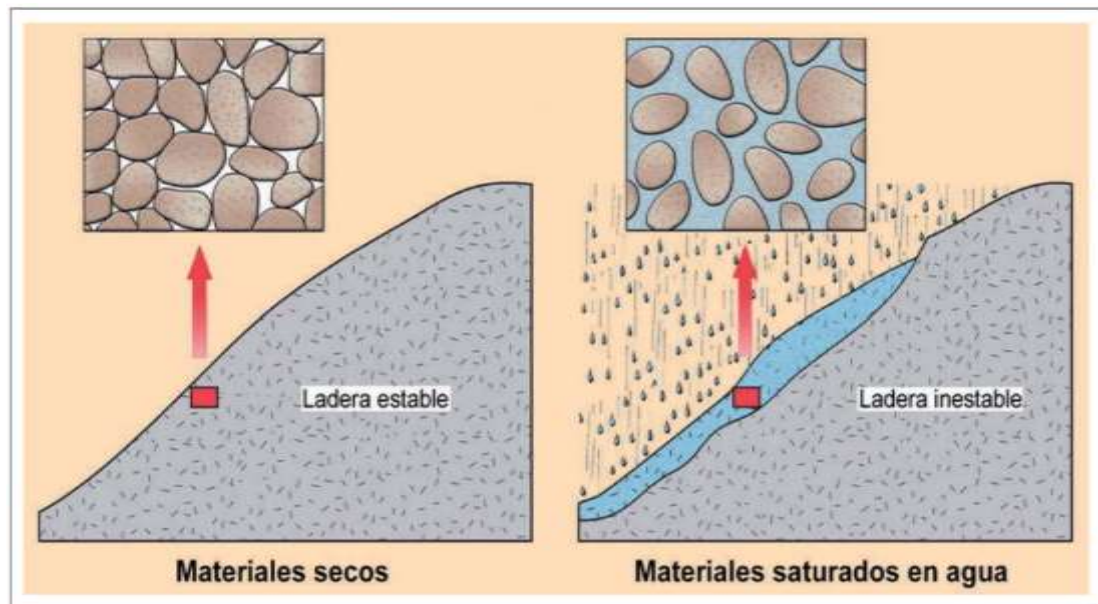
1.9.3 Precipitaciones

El agua en el suelo es un factor desencadenante de movimiento de ladera considerado uno de los más importantes, pues influye en la inestabilidad de los taludes o laderas, debido a que el contenido de agua en el suelo acelera el proceso de la meteorización química mediante la hidratación de los minerales del suelo, lo que provoca la descomposición del mismo.

La meteorización física produce cambios en la estructura geológica del suelo como consecuencia de la humectación y la desecación por ciclos repetitivos, según los factores climáticos, lo que provoca la desintegración del material del suelo.

Las precipitaciones producen erosiones internas por escorrentías superficiales y externas por flujos subterráneos producto de la infiltración del agua. Conforme con Herrera y Lario (2017), el contenido de agua en el suelo puede reducir el factor de seguridad del talud o ladera aumentando el peso o la presión del agua en los poros de los materiales que la constituyen.

Figura 11. Suelo saturado y no saturados por las precipitaciones



Nota. La presión de agua en poros saturados provoca una disminución de las fuerzas de cohesión el suelo o sedimento. Tomado de *Introducción a los riesgos geológicos*, por G. Herrera y J. Lario, 2017, <https://www21.ucsg.edu.ec:2653/es/ereader/ucsg/48895>

1.9.4 Meteorización

Según Tarbuck y Lutgens, (2013), la meteorización, los procesos gravitacionales y la erosión son procesos externos que tienen lugar en la superficie terrestre y se alimentan de la energía solar. Estos procesos externos son parte de la vida del ciclo de las rocas, pues transforman la roca sólida en sedimentos.

La meteorización es un agente atmosférico corrosivo para las rocas de los taludes o laderas de montañas, cerros, entre otros, puesto que están expuestos a la intemperie, lo que se afecta por procesos físicos o mecánicos y químicos que dependen de los factores climáticos.

1.9.5 Meteorización física o mecánica

Este fenómeno ocurre cuando los bloques de rocas de un talud o ladera pertenecientes a montañas o cerros expuestos al intemperismo se desintegran o fragmentan a partir de un bloque de roca principal que conserva las características de la misma.

La fragmentación de la roca, según Tarbuck y Lutgens (2013), es provocada por procesos físicos importantes de la meteorización física que inducen a la fragmentación. Cabe mencionar que otros agentes externos a la meteorización, como los agentes erosivos del viento, el hielo y el agua, son agentes dinámicos que retiran los fragmentos o restos rocosos desintegrando estos materiales, lo que provoca deslizamientos o derrumbes en el talud o ladera; los procesos físicos importantes de la meteorización física o mecánica son los siguientes:

- Expansión provocada por la descompresión.
- Expansión térmica.
- Actividad biológica.

1.9.6 Descompresión

Este proceso es ocasionado por la gran reducción de presión en la roca del talud o ladera que se encuentra expuesta a la intemperie, debido a la erosión de la capa de roca más externa o superior. Es un proceso llamado descompresión, por ello, la capa más externa de la roca se expande más que las capas de roca que se encuentran por debajo, lo que provoca que se desprenda de la roca; a este proceso se le denomina lajamiento (Tarbuck y Lutgens, 2005). Otro efecto diferente de la expansión que hace que la roca se fracture es mediante la contracción durante la cristalización de magma o las fuerzas tectónicas en las formaciones geológicas de montañas, cerros, entre otras. Estas fracturas tienen un modelo definido y son denominadas diaclasas, estructuras rocosas importantes con alta permeabilidad que permiten la infiltración de agua hacia zonas profundas, lo que da lugar a meteorizaciones en la rocas desde antes que sobresalga a la superficie en contacto con la atmósfera (Tarbuck y Lutgens, 2013).

1.9.7 Expansión térmica

La variación de temperatura constante sobre las rocas produce la meteorización de las mismas, debido a las altas temperaturas que calientan las rocas, lo que provoca que se expandan o se dilaten, a diferencia de las bajas temperaturas que hacen que las rocas se enfríen y se contraigan.

Conforme con Tarbuck y Lutgens (2013), la dilatación y contracción en ciclos repetitivos sobre los minerales de las rocas con índices de expansión diferentes producen cierta tensión sobre la capa externa de la roca, lo que hace que la roca se desintegre o se fragmente quedando expuesta a otros agentes externos como la erosión, agentes gravitatorios, entre otros.

Según estudios en laboratorios, la roca no tiende a fragmentarse fácilmente como consecuencia de la expansión térmica, así, como sugerencia necesitan ayuda de la meteorización química para ser más efectiva la meteorización por expansión térmica.

1.9.8 Meteorización por actividad biológica

La vegetación endémica del lugar provoca meteorización en la roca debido a que la raíz de los árboles crece entre las grietas y fracturas de la roca en busca de nutrientes y agua, lo que provoca que la roca, a partir de estas grietas y fracturas, conforme las raíces de los árboles que crecen, lo que genera que estas fallas empeoren o se dé la ruptura total o parcial de la misma. La actividad de animales excavadores aumenta la meteorización de la roca exponiendo material fresco a la intemperie, donde los agentes físicos y químicos actúan con mayor efectividad. Por otra parte, la descomposición de organismos del lugar ayuda a la meteorización química de la roca.

La actividad humana contribuye a la meteorización de las rocas, así, una de las actividades humanas es la explotación de canteras para uso como material de construcción, específicamente, en la voladura de cerros, lo que deja expuestas a las rocas profundas al intemperismo, así como la actividad de explotación minera a cielo abierto, lo que deja expuesta a las rocas profundas al intemperismo; esto facilita la acción y la mayor efectividad de la meteorización.

1.9.9 Meteorización química

Según López (2002), este tipo de meteorización tiene al agua como un factor principal en todos los procesos de la meteorización química, como la oxidación, la carbonatación, el cambio catónico y la quelación.

Estos procesos de la meteorización química debilitan las capas externas de las rocas, lo que facilita la acción y efectividad de la meteorización física o mecánica; lo mismo sucede en la meteorización física, la que, al fragmentar la roca, aumentaba el área superficial donde la meteorización química podía actuar con mayor facilidad.

Cabe mencionar que ambos procesos de meteorización pueden actuar de forma independiente según las condiciones del lugar, así como sucesivamente uno primero que otro según las condiciones de la roca, lo que empeora el estado en que se encuentre la roca y acelera la meteorización de la misma.

1.10 Discontinuidades en roca

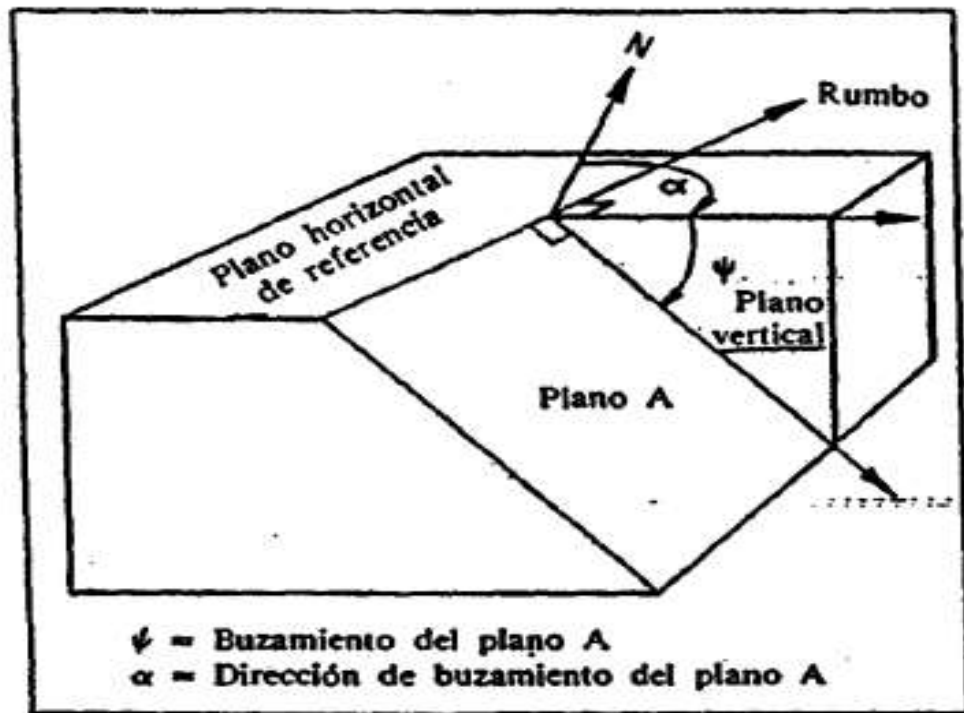
1.10.1 Buzamiento y rumbo o dirección

Para Tarbuck y Lutgens (2005), los geólogos usan dos medidas para conocer la orientación de una falla interna o superficial de un macizo rocoso: el rumbo o dirección y el buzamiento o inclinación. Una vez conocidas estas medidas, los geólogos, además de conocer la orientación de una falla en el macizo rocoso, pueden determinar la naturaleza y la estructura de la matriz rocosa.

El buzamiento es el ángulo entre un plano horizontal de referencia y la línea de máxima pendiente del plano de falla medido en el sentido de la inclinación del plano de falla, este sería el ángulo de inclinación del plano de falla y la dirección de buzamiento es el ángulo medido en el sentido de las manecillas del reloj entre el norte magnético y el plano de proyección horizontal referencial respecto con la línea de mayor pendiente del plano de falla (Ayala y Andreu, 1987).

El rumbo o dirección es el ángulo que existe entre la recta intersección (del plano de proyección horizontal y la línea de mayor pendiente del plano de falla) y el norte magnético, lo que es medido siempre en la dirección de las manecillas del reloj (Tarbuck y Lutgens, 2005).

Figura 12. Esquema de los componentes de la orientación de un plano de falla



Nota. Tomado de *Manual de taludes*, por F.J. Ayala y G.F. Andreu, 1987, http://info.igme.es/SidPDF/065000/075/65075_0001.pdf

1.10.2 Planos de discontinuidad

Los planos de discontinuidad son superficies específicas del macizo rocoso que determinan las propiedades y el comportamiento resistente e hidráulico de la roca en general, así, son de carácter discontinuo y anisótropo a la roca, provocando que se vea afectada su deformabilidad, lo que la vuelve menos estable o débil (González et al., 2002).

Los planos de discontinuidades son superficies que separan o crean juntas en los macizos rocosos, pueden ser de origen sedimentario (superficies con estratificación o laminación) o tectónico (como las diaclasas o fallas)

(González et al., 2002). La identificación y la caracterización de estos planos discontinuos son importantes a la hora de estudiar el comportamiento mecánico y el flujo de infiltraciones de agua de las rocas.

1.10.3 Fallas y juntas

Las fallas y las juntas son planos de discontinuidad que se originan cuando el macizo rocoso sometido a esfuerzos tectónicos, debido a las corrientes magmáticas de la corteza terrestre, supera el límite de rotura de la roca provocando que se generen fallas o juntas; ocurren las fallas debido a las tensiones cortantes a las que está sometida la roca, lo que produce una rotura con deslizamientos, de lo contrario, cuando la superficie discontinua solo ha sufrido una fractura sin deslizamiento, se denomina junta, sin embargo, ocurren estas fallas o juntas por los esfuerzos de compresión vertical por la erosión superficial de la roca como consecuencia de los cambios drásticos de volúmenes del macizo rocoso (Ramírez y Alejano, 2004).

1.11 Tipos de falla de taludes

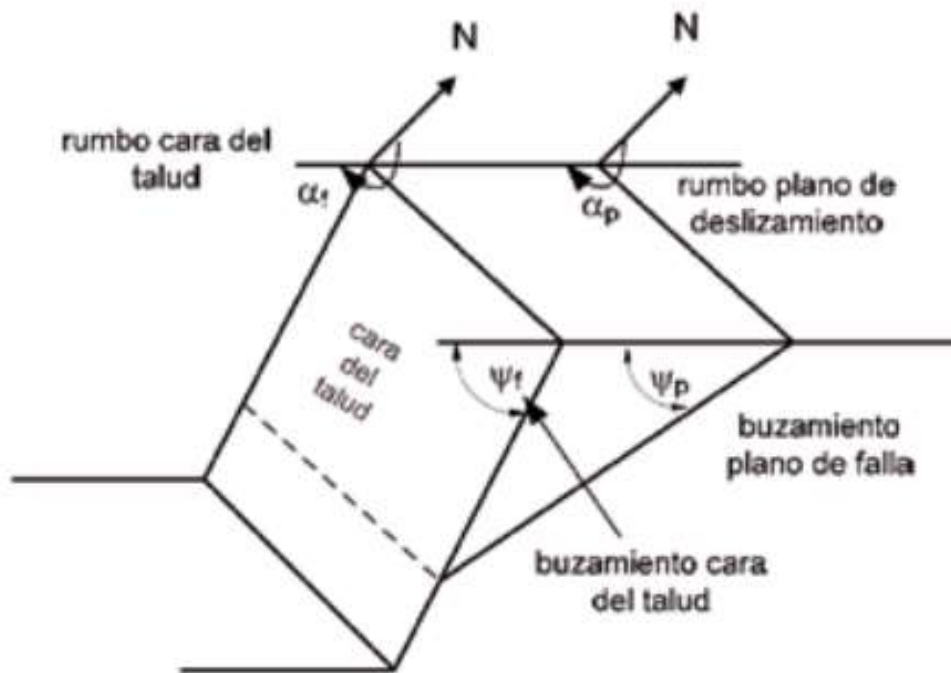
Los tipos de rotura de talud en el suelo ocurren en superficies curvas con diferentes formas, además de la morfología y estratigrafía del talud; existen taludes en macizo rocoso de alta o baja resistencia y en suelo suelto o fino. Los tipos de fallas de taludes en suelo firme dependen del grado de fracturación del macizo rocoso, de la orientación y la distribución de los planos de discontinuidades respecto con el talud, además de la resistencia al corte que contrarreste a las fuerzas deslizantes, sea su propio peso o fuerzas externas.

1.11.1 Falla planar

Este tipo de falla se caracteriza por el deslizamiento a favor de superficies de fallas preexistentes debido a planos de discontinuidades, juntas tectónicas, diferentes estratificaciones, entre otros. De acuerdo con Sobarzo et al. (2011), las condiciones que se deben cumplir para que sea una falla de tipo planar o plana son que el plano de falla debe ser un plano continuo que tenga un rumbo casi paralelo a la superficie del talud, este no debe diferir de

mas de 20° , asimismo, que el buzamiento del plano de falla sea menor que el de la superficie del talud. En caso de no haber cohesión, el buzamiento del plano de falla debe ser mayor que el ángulo de rozamiento del mismo plano de falla, y las superficies laterales que contienen y separan los planos de falla deben tener una resistencia despreciable.

Figura 13. *Falla planar*



Nota. Tomado de *Estudio de la estabilidad de taludes en roca meteorizada de la formación Quiriquina*, por V. Sobarzo et al., 2011, Obras y Proyectos, 9.

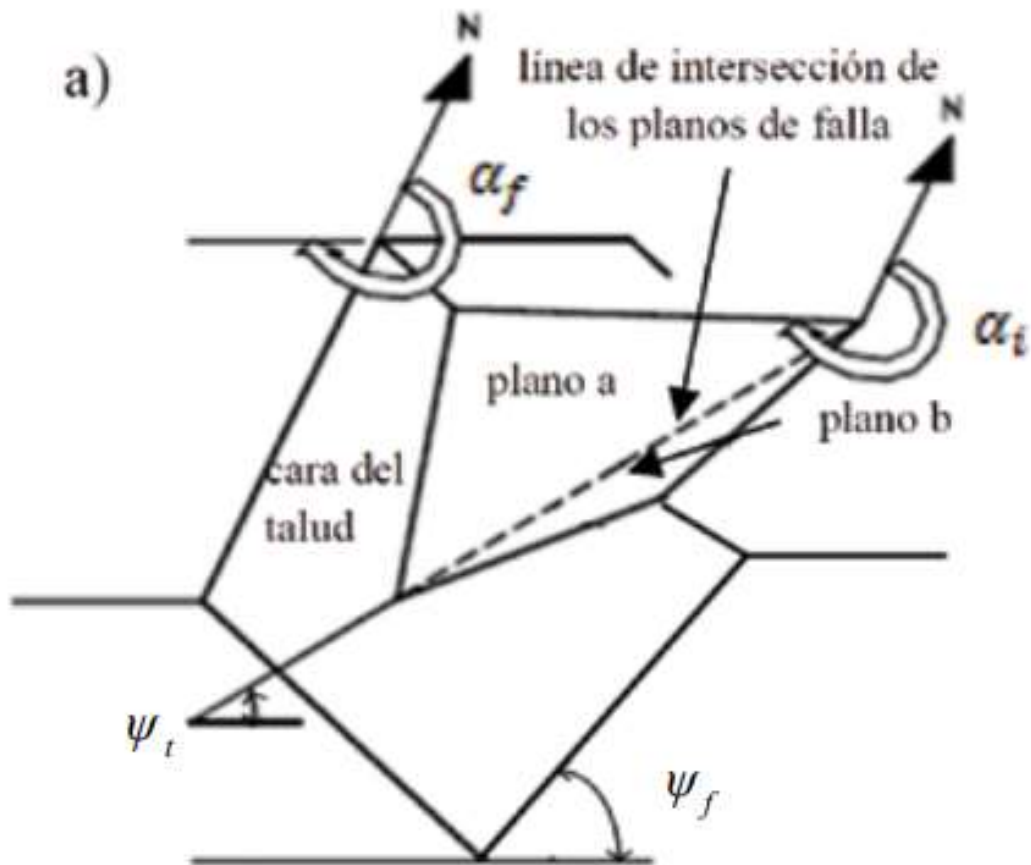
1.11.2 Falla en cuña

Son deslizamientos de bloques en forma de cuñas, los que son originados por la intersección de dos planos de discontinuidades o fallas con el deslizamiento a dirección de la línea de intersección.

Para que ocurra este tipo de falla, se debe cumplir con que el rumbo de la línea de intersección de los dos planos de discontinuidades o fallas sea aproximado al rumbo de la superficie de la cara del talud, es decir, que los dos planos de falla se extiendan hasta la cara de la superficie del talud, por lo que

el buzamiento de la línea de la intersección de los dos planos de falla debe ser menor que el de la superficie de la cara del talud y el buzamiento de la línea del talud debe ser mayor que el ángulo de rozamiento entres los dos planos de falla (Sobarzo et al., 2011).

Figura 14. *Falla de tipo cuña*



Nota. Componentes de una falla en cuña. Tomado de *Estudio de la estabilidad de taludes en roca meteorizada de la formación Quiriquina*, por V. Sobarzo et al., 2011, Obras y Proyectos, 9.

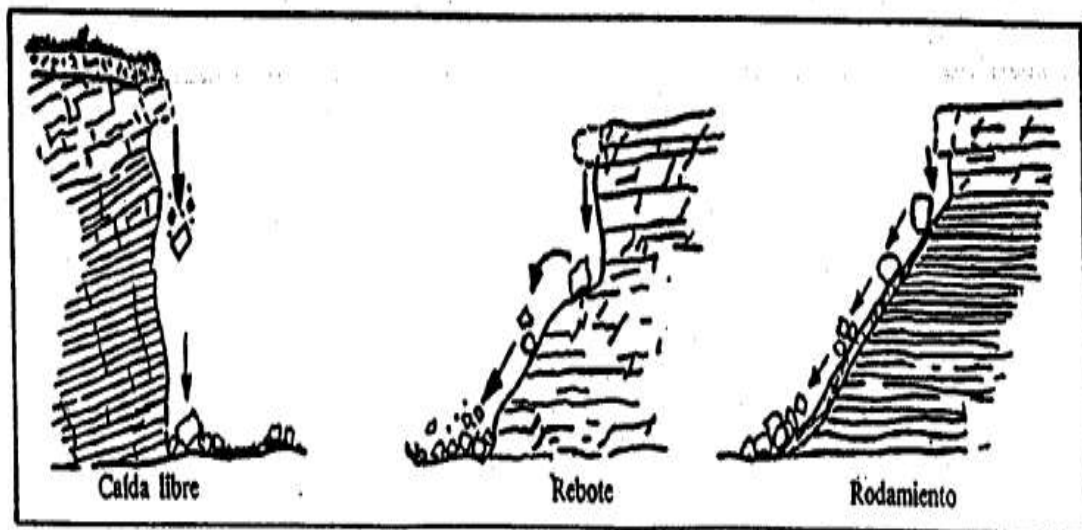
1.12 Tipos de movimiento de masas

Los movimientos de masas son de varios tipos, estos se generan como producto de un talud inestable, así, dichos movimientos dependen de los mecanismos propios de cada tipo de material que conformen el talud y de los factores climáticos del sitio en que se encuentre.

1.12.1 Desprendimiento

Se conoce por desprendimiento a una masa aislada o a masas rocosas de un talud, como puede ser en un acantilado, cornisas, cerros, entre otros, el que se produce mediante una superficie de corte y tiene una trayectoria en caída libre por el aire, por otra parte, estos mecanismos de movimientos suelen ocurrir en zonas geológicas con alternancias sedimentarias de capas resistentes y débiles. Los principales factores que provocan estos mecanismos de movimientos son la meteorización, la contracción por presiones de bloques de roca en el borde y la rotura por flexotracción (Ayala y Andreu, 1987).

Figura 15. Trayectorias de desprendimientos



Nota. Tomado de *Manual de taludes*, por F.J. Ayala y F.J. Andreu, 1987, http://info.igme.es/SidPDF/065000/075/65075_0001.pdf

1.12.2 Deslizamientos

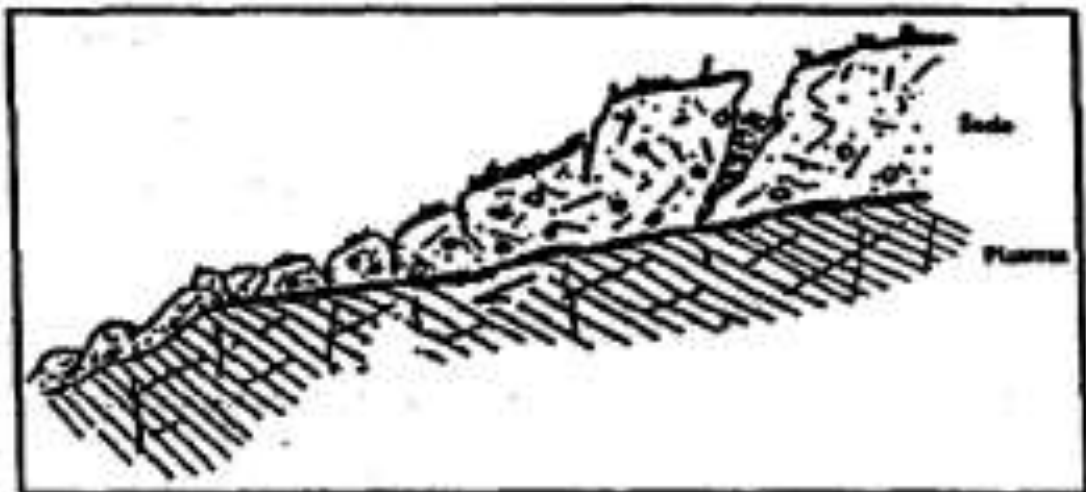
Los deslizamientos son movimientos de masas del material que conforman las montañas, los cerros, los acantilados, entre otros, cuyos movimientos se generan debido a que se ha superado la resistencia al corte en las superficies de falla como consecuencia de fuerzas deslizantes internas y externas que actúan por medio de las modificaciones geológicas o climáticas a las que se somete el material del terreno, obligándolo a encontrar su forma en equilibrio con estos deslizamientos de masas.

Los deslizamientos de grandes masas debido a su gran extensión representan un riesgo geológico importante que puede llegar a afectar a obras civiles y comunidades; dicho fenómeno geológico está asociado con factores climáticos, como lluvias intensas o actividad sísmica (González et al., 2002).

El deslizamiento traslacional ocurre mediante una ruptura a favor del plano de fallas con superficies caracterizadas por sus debilidades preexistentes que pueden estar condicionadas por superficies de estratificación, esquistosidad, fallas, entre otros, donde se ve afectada la resistencia al corte entre los estratos con diferentes características litológicas, distinto grado de meteorización y diferentes tipos de relleno de discontinuidades; por ello, disminuye la resistencia y se producen estos deslizamientos traslacionales.

Los deslizamientos traslacionales no son profundos, pero sí son extensos y pueden llegar a alcanzar grandes distancias, así, pueden ocurrir en suelos y rocas, y su mecanismo es mediante bloques rectangulares aislados por planos de discontinuidad o grietas de tracción, asimismo, se desplazan hacia afuera y abajo siguiendo la superficie del talud.

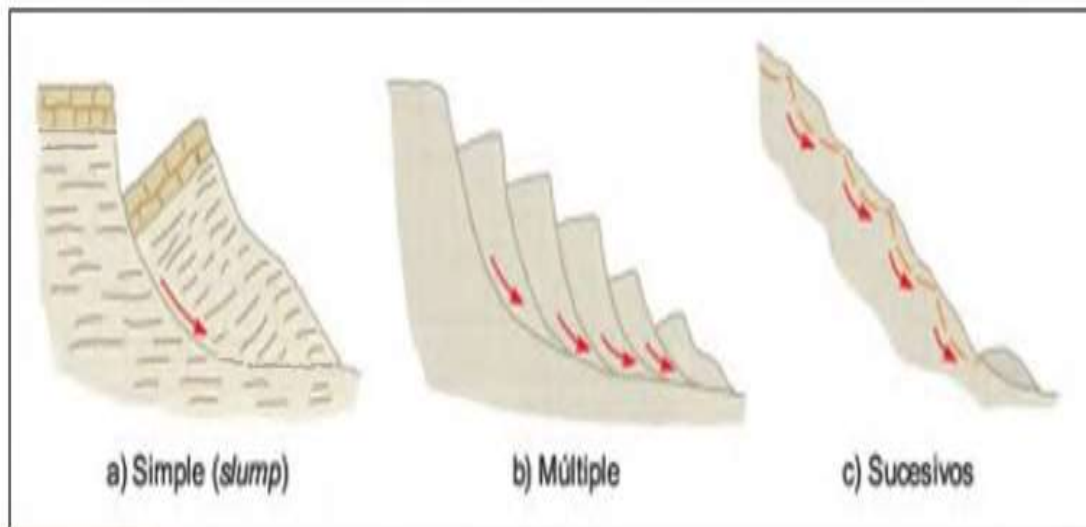
Figura 16. Deslizamiento traslacional suelo-roca



Nota. Tomado de *Manual de taludes*, por F.J. Ayala y F.J. Andreu, 1987, http://info.igme.es/SidPDF/065000/075/65075_0001.pdf

Los deslizamientos rotacionales se dan en suelos finos homogéneos y la rotura puede ser superficial o profunda; estos tipos de deslizamientos acontecen en zonas con superficies de curvas. Por otra parte, el mecanismo de deslizamiento se da en varios bloques de masas que se deslizan y rotan entres en ellas, formando escalones en la superficie del talud y grietas de tracción estriadas (Gonzáles et al., 2002).

Figura 17. *Tipos de deslizamiento rotacional.*



Nota. Tomado de *Ingeniería Geológica*, por L. Gonzáles et al., 2002, Pearson Educación

1.12.3 Flujos de masas

Los flujos son movimientos de masas de diferentes tipos de suelo, pueden ser flujos de barro o tierra, así como fragmentos rocosos, y se asocian con un gran contenido de agua convirtiéndose en un material disgregado con un comportamiento parecido al de un fluido, lo que está condicionado por constantes deformaciones, pero sin zonas de rotura definidas; por otra parte, las lluvias son el factor desencadenante principal de este tipo de movimientos, debido a la poca resistencia en el caso de los materiales poco cohesivos, como ocurre en los suelos arcillosos. Estos movimientos se pueden llegar a dar en taludes con grado de inclinación menor de 10° (Gonzáles et al., 2002).

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS

2.1 Características geológicas de los taludes inestables del cerro San Eduardo

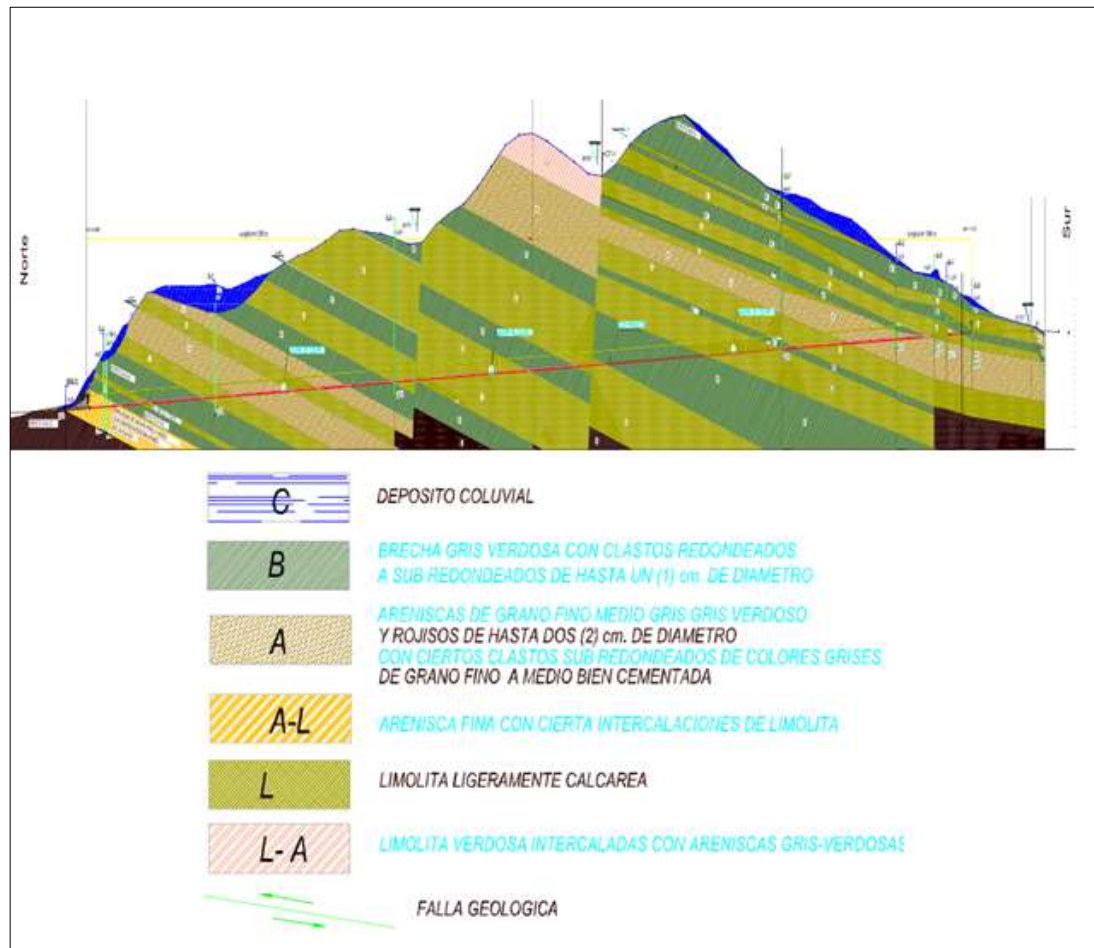
2.1.1 Influencia del orden tectónico de las cordilleras en el cerro San Eduardo

La CCC, anteriormente, tenía una expansión con dirección norte-sur que se aproximaba desde Colombia, no obstante, por razones de orden tectónico, como la influencia de la CC junto con el punto caliente de las Islas Galápagos, el empuje tectónico que se aproxima desde tumbes y demás fenómenos lograron que la CCC a nivel de Puerto Cayo gire a 90° , haciendo que pierda el paralelismo a la Cordillera de los Andes, sin embargo, con esta nueva orientación de la CCC, su trayectoria se extiende por Guayaquil y se dirige hacia la Cordillera de los Andes generando un ángulo de buzamiento, en los estratos de origen marino, cuyo ángulo aproximado es de 30° hacia el sur (Chunga et al., 2010).

La CCC, actualmente, se encuentra con una orientación oeste-este buzando con, aproximadamente, 30° hacia el sur; en dicha orientación se ubica el cerro San Eduardo, junto con la extensión de la CCC, por lo que también se ve afectado por estos fenómenos de orden tectónico de las cordilleras, pues dichos fenómenos afectan alterando la matriz rocosa del cerro mediante deformaciones de orden geomorfológico, lo que genera posibles planos de falla en el cerro San Eduardo (Chunga et al., 2010).

2.2 Zonas de inestabilidad en los taludes del cerro San Eduardo

Figura 18. Perfil geológico cerro San Eduardo túneles



Nota. Tomado de *Resumen Ejecutivo - Diseño de los Túneles de San Eduardo, Guayaquil, Ecuador*, por Lahmeyer International, Conyfis, & Consulsismica, 2005, <http://www.ventilacion>

En la Figura 18 se expone perfil geológico de la sección transversal siguiendo el eje longitudinal de los túneles del cerro San Eduardo, túneles que atraviesan el cerro y fueron construidos con el fin de conectar las zonas suroeste-noroeste y noroeste-suroeste de la ciudad de Guayaquil, sin embargo, se puede observar que existen zonas de falla geológicas en dicha zona del cerro y los taludes del cerro están conformados por una capa de depósitos coluviales, pese a ello, estas características geológicas representan índices de riesgo al deslizamiento de masas del cerro San Eduardo.

Según Lahmeyer International, Conyfis, & Consulsismica (2005), la zona de túneles del cerro San Eduardo está conformada por la Formación Cayo, por otra parte, las zonas de falla identificadas en el perfil geológico tienen un ángulo de buzamiento de 14°-20° hacia el Sur; además, la clasificación de roca según el RMR (clasificación macizo rocoso en el área del túnel) es de grado III, el que corresponde con la clasificación de roca moderadamente meteorizada.

Tabla 3. *Clasificación macizo rocoso en el área del túnel*

Clasificación del macizo rocoso según su meteorización		
Grado	Estado de la roca	Descripción de la roca
I	Fresca	Sin síntomas visibles de meteorización
II	Ligeramente meteorizada	La meteorización penetra ligeramente en la roca por medio de las juntas más importantes presentándose con un cambio de color, generalmente del gris al parduzco o amarillento.
III	Moderadamente meteorizada	La meteorización se extiende a través de toda la masa rocosa, pero conserva suficiente resistencia para no ser desmenuzada con la mano, podrían presentarse nódulos de roca desmenuzables con la mano.
IV	Altamente meteorizada	La meteorización se extiende para toda la masa rocosa y puede desmenuzarse fácilmente con la mano.
V	Completamente meteorizada	

Nota. Adaptado de *Resumen Ejecutivo - Diseño de los Túneles de San Eduardo, Guayaquil, Ecuador*, por Lahmeyer International, Conyfis, & Consulsismica, 2005, <http://www.ventilacion>

El afloramiento de los estratos del macizo rocoso del cerro San Eduardo-Túnel permite, con facilidad, tener un conocimiento del estado de los taludes en cuanto a lo superficial, además de identificar la calidad de la roca, sin embargo, se puede observar que las capas más exteriores del macizo rocoso, las que afloran en el talud, se encuentran gravemente afectadas por los procesos de meteorización, esto conforme con Lahmeyer International, Conyfis, & Consulsismica (2005).

Figura 19. *Afloramiento de estratos del macizo rocoso zona cerro San Eduardo-Monumental*



Nota. Tomado de Defensas dinámicas sucesivas para zonas amenazadas por caída de rocas del cerro San Eduardo, Guayaquil, por drovo, 2022, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/19915>

2.3 Tipos de tratamiento de taludes inestables

2.3.1 Muros de contención de gaviones

Los muros de gaviones se utilizaron, por primera vez, en Europa con diferentes características constructivas, sin embargo, en el siglo XIX fueron aplicados en su versión más actualizada hasta el momento. Este método de tratamiento de taludes inestables ha evolucionado en cuanto a su utilización y diferentes campos de aplicación, por otra parte, a inicio de los años setenta, se empezó a usar en América Latina y, hoy en día, es de uso convencional en todo el continente (EcoGreen Construcciones, 2018).

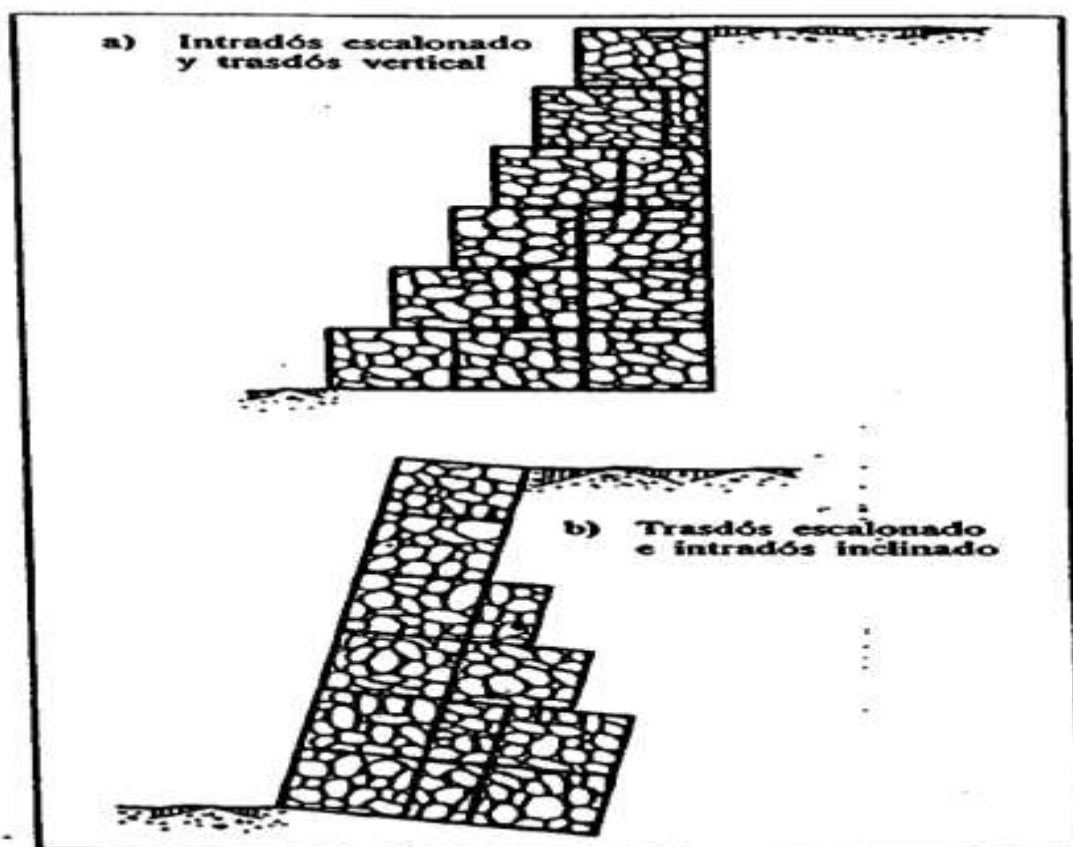
Los muros de gaviones, en la categoría de estabilización de taludes, se clasifican como estructuras flexibles, cuyo objetivo es adaptarse a los movimientos del talud involucrando su peso propio y la capacidad de resistir deformaciones considerables sin que colapse la estructura; estos tipos de estructuras flexibles y muros de gaviones, según Ayala y Andreu (1987), son elementos con forma de un prisma rectangular, el que está conformado por un relleno granular constituido por fracciones de una matriz rocosa firme no degradable, dicho relleno queda atrapado por una malla de alambre metálico, asimismo, en cuanto a su construcción, es un método sencillo y práctico.

Los muros de gaviones trabajan, principalmente, por gravedad; en cuanto a sus dimensiones convencionales, tienen una longitud paralela al talud de entre 2 a 4 m, de altura tienen entre 0,3 a 1 m y de ancho, por lo general, son de 1 m, así, pueden existir otras dimensiones mayores en cuanto a su relación altura-ancho del muro, por lo que esto depende de las condiciones y demandas del talud *in situ*, por otra parte, los muros de gaviones no presentan ningún tipo de problemas de drenajes ni de empujes hidrostáticos, debido a que los muros de gaviones son permeables (Ayala y Andreu, 1987)

En cuanto al proceso constructivo de los muros de gaviones sobre los taludes, se colocan de forma escalonada al trasdós o al intradós, no obstante, en algunos casos, se colocan los muros de gaviones inclinados paralelo al talud, lo que reduce el ancho del muro de gavión, por otra parte, si se emplea el muro de gaviones para contener taludes de rellenos arcillosos o suelos finos, se deberían usar contrafuertes que penetren en el talud y con un espaciado de 2 a 4 m aproximadamente, con el fin de mantener un buen drenaje y un óptimo sistema estructural (Ayala y Andreu, 1987).

Los muros de gaviones se aplican, sobre todo, como un sobrepeso en el talud, el que actúa contra desprendimientos y la erosión; este tipo de muros no se usa, principalmente, como muro de contención en macizos rocosos (Ramírez y Alejano, 2004).

Figura 20. Esquemas de tipos de orientación de muros de gaviones



Nota. Tomado de *Manual de taludes*, por F.J. Ayala y F.J. Andreu, 1987, http://info.igme.es/SidPDF/065000/075/65075_0001.pdf

Figura 21. Muro de gaviones en trasdós escalonado e intradós vertical.



Nota. Tomado de *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de taludes*, por P. Ramírez y L. Alejano, 2004, https://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf

Figura 22. Muro de gaviones en intradós escalonado y trasdós vertical.



Nota. Tomado de *Muros de Gavión - La solución para las obras hidráulicas*, por EcoGreen Construcciones, 2018, <http://www.tumuro.com/muros-de-gavion.html>

Figura 23. Muro de gaviones intradós escalonado con inclinación paralelo al talud



Nota. Tomado de *Muros de Gavión - La solución para las obras hidráulicas*, por EcoGreen Construcciones, 2018, <http://www.tumuro.com/muros-de-gavion.html>

2.3.2 Muros de contención por gravedad de ciclópeo

Los muros de gravedad son del tipo de muro más antiguo en su aplicación respecto con el tratamiento de taludes inestables. Los muros de gravedad, en la categoría de estabilización de taludes, se clasifican como estructuras rígidas cuyo objetivo es soportar las descargas del material contenido por el muro de gravedad y transferir, de una forma segura, estas mismas descargas hacia la fundación del muro (Cabezas, 2013).

Los muros de gravedad de hormigón ciclópeo fueron utilizados en sus comienzos en Grecia, donde eran estructuras rígidas robustas y contenían grandes bloques de rocas colocadas una después de otra; en la actualidad, son estructuras rígidas similares, pero las rocas no son tan grandes, así, se sigue aplicando este tipo de muros en construcciones como presas, muros de

contención, cimientos, entre otros. Por otra parte, los muros de hormigón ciclópeo son la mezcla entre concreto y cantos o bloques de roca dura, con un 60 % de hormigón y un 40 % de volumen de piedra, sin embargo, si aumenta este volumen de piedra en la mezcla, este podría alterar su comportamiento mecánico interno provocando posibles fallas por flexión, debido a su baja resistencia a la misma, no obstante, este volumen óptimo en la mezcla reduce el uso de hormigón (EcoGreen Construcciones, 2018).

Los muros de hormigón ciclópeo tienen una geometría trapezoidal o escalonada, pues es un muro de gravedad con gran volumen de hormigón ciclópeo, además, los muros de gravedad son estructuras rígidas pasivas en las que su peso propio es fundamental para estabilizar el talud, por ello, el suelo de la fundación del mismo no debe permitir asentamientos importantes, lo que ocurre en suelos arcillosos, pues el muro no resiste esfuerzos de flexión (Ayala y Andreu, 1987).

En cuanto al proceso constructivo de los muros a gravedad de hormigón ciclópeo, se comienza con las excavaciones y la construcción de los encofrados según indiquen los planos del diseño arquitectónico y civiles; la base o fundación del muro debe estar nivelada y compactada, además, se recomienda colocar una carpeta de hormigón simple de baja resistencia en la base, con el objetivo de facilitar la colocación de las primeras capas, por otra parte, el encofrado no deberá ser mayor de 1 m de altura, debido a que dificultaría el colocado de las piedras y el vertido de hormigón, pese a ello, se vierte una capa de 15 cm de espesor del hormigón estructural sobre la carpeta de hormigón de base, para realizar el colocado de piedras antes de haber transcurrido 30 minutos, porque no se va poder adherir, de una manera óptima, la hilera de piedras (ABC-Geotechnical Consulting, s.f.).

El diámetro de piedra que se usa convencionalmente es de entre 20 y 30 cm y deben ser bloques de rocas angulosas, así, si se usan rocas redondeadas se deberían romper, para que tengan caras rugosas con bordes angulosos, con el objetivo de que exista una mayor adherencia entre roca-cemento, por otra parte, luego de haber colocado la piedra, se vierte el resto del hormigón estructural que falta para rellenar la primera capa; este proceso se repite hasta terminar la altura del muro según lo indicado en los planos.

Cabe recalcar que el encofrado se debe retirar a los 14 días, puesto que, de ser retirado antes, el muro no tendría resistencia por sí mismo (ABC-Geotechnical Consulting, s.f.).

Figura 24. *Fundición de primera capa del muro de hormigón ciclópeo*



Nota. Tomado de *Hormigón ciclópeo*, por Dehormigón, s.f., <https://dehormigon.com.ar/hormigon-ciclopeo/>

Figura 25. *Muro de hormigón ciclópeo al pie de talud.*



Nota. Tomado de *Muros de contención de hormigón o concreto ciclópeo*, por ABC-Geotechnical Consulting, s.f., <https://www.mecanicasuelosabcchile.com/muro-hormigon/>

2.3.3 Muros en cantiléver

Los muros en cantiléver son muros esbeltos, con una forma de L o T invertida con contrafuertes internos o externos según la altura del muro y los parámetros resistentes del terreno del talud, además, pueden tener estribos como un elemento estructural de refuerzo adicional según sea el caso. Son muros de hormigón armado, así, también son llamados muros aligerados, debido a que reduce gran volumen de hormigón a cambio del material de relleno que conforma el talud inestable, el que actúa como un estabilizador para el muro.

El muro en cantiléver está compuesto por cuatro componentes o partes principales: pantalla vertical, relleno, talón y zarpa. Los muros en cantiléver no ejercen presiones importantes en la cimentación a diferencia de los muros de gravedad, por esto, es más recomendada su aplicación en suelos que no son considerablemente estables, asimismo, los momentos máximos de flexión ocurren en la base de la pantalla vertical; conforme incrementa la altura de la pantalla vertical, aumentan los momentos flectores en la base de la pantalla, por ello, se da el uso de los contrafuertes para aportar rigidez a la pantalla cuando son de alturas importantes (Ayala y Andreu, 1987).

En el diseño de los muros en cantiléver, según Suárez (2012), se deben tener en cuenta algunas consideraciones respecto con el diseño, entre ellas, las siguientes:

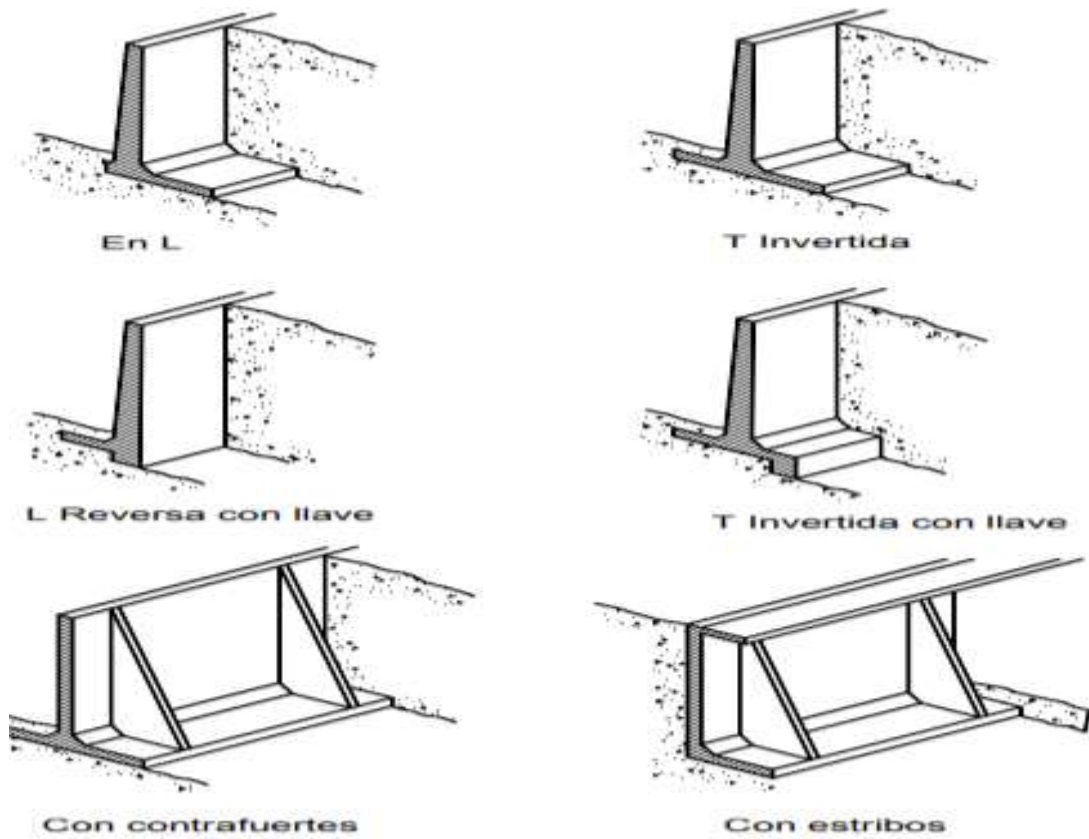
- Evaluar y garantizar la estabilidad global para el muro en cantiléver, para prevenir volcamientos o deslizamientos sobre la cimentación, y para el talud en consideración con el suelo por debajo de la cimentación, esto para evitar deslizamientos o asentamientos respecto con el muro de cantiléver.
- El relleno sobre el talón del muro de cantiléver se debe considerar como parte del peso total del muro para el desarrollo de cálculo de fuerzas, además, se debe determinar la capacidad de resistencia del cimiento tomando en cuenta todos los pesos y fuerzas externas.

- Al momento de diseñar la geometría y los refuerzos internos del muro, se realiza en función de los momentos y cortantes según la filosofía de la ingeniería estructural aplicada para este caso; cabe mencionar que será fundamental calcular las demandas a flexión y cortante para el diseño estructural interno del muro y de la cimentación.
- Respecto con el diseño estructural, se recomienda suponer que la pantalla vertical del muro se comporta como una viga empotrada y en voladizo, además, conforme con el caso, si el muro lleva contrafuertes, la pantalla vertical y el talón se comportan como una losa empotrada en sus tres lados, no obstante, se recomienda, para todos los casos de muro en cantiléver, que las presiones actúen en reposo en todas sus paredes, para el desarrollo del cálculo de fuerzas sobre las mismas.
- Todos los tipos de muros reforzados deben tener un sistema de drenaje en el exterior de la pantalla vertical y un drenaje de agua retenida en el material de relleno contra la pantalla vertical.
- Los muros aligerados son económicamente viables con altura de pantalla de hasta 8 m, pues más de esta altura representa un incremento del espesor de la pantalla, lo que hace más costosa la obra.

Estos muros en cantiléver son comúnmente aplicados al adaptarse a suelos con no tan buenos cimientos, debido a que son aligerados mediante el acero de refuerzo, además de ser económicamente viables hasta una altura de 8 m de pantalla vertical; los muros en cantiléver son muros de contención que resisten esfuerzos a flexión y cortantes, esto por los empujes de tierra por deslizamientos. Según Ayala (s.f), lo más complejo es calcular el empuje que debe ser resistido por los muros por parte del talud inestable, por esto, se deben emplear cálculos geomecánicos precisos, sin embargo, para deslizamientos a menor escala, las demandas de contención son alrededor de 5 a 10 t/m, y para deslizamientos de gran magnitud, estos superan las 100 t/m.

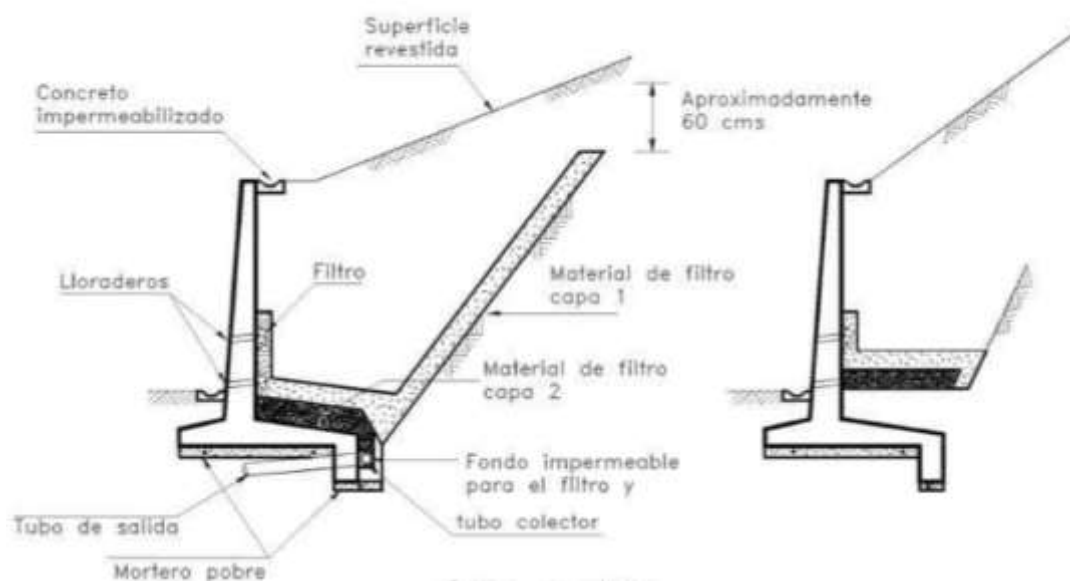
Son deslizamientos de grandes masas, por lo que en estos casos, con demandas elevadas de los muros, se afecta la economía de la obra, por lo tanto, se recomienda usar anclajes.

Figura 26. Tipos de muros de hormigón armado o aligerado



Nota. Tomado de *Deslizamientos. Tomo II: técnicas de remediación*, por J. Suárez, 2012, <https://www.erosion.com.co/download/cap-3-estructuras-de-contencion>

Figura 27. Componentes de un Muro en cantiléver.



Nota. Tomado de *Tipos de muro de contención, usos y materiales*, por Arquitectura Pura, s.f., <https://www.arquitecturapura.com/construccion/muro-de-contencion-8495/>

Figura 28. Muros de hormigón armado en macizo rocoso.



Nota. Tomado de *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de taludes*, por P. Ramírez y L. Alejano, 2004, https://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf

2.4 Generalidades, características, clasificación y materiales de los sistemas de anclajes inyectados y postensados

2.4.1 Conceptos y características generales

Los sistemas de anclaje con torones (un solo torón con forma de trenzado conformado por alambres de acero), en su uso respecto con obras de estabilización o contención, generan una estabilización del terreno, específicamente, en taludes inestables. Según Ramírez y Alejano (2004), los sistemas de anclajes estabilizan el talud inestable mediante fuerzas que se oponen al movimiento y otras que incrementan las fuerzas normales al plano de falla, aumentando la fricción de la masa de roca propensa al deslizamiento contra la superficie de falla, lo que se traduce a mayores esfuerzos resistentes al deslizamiento.

2.4.2 Partes características de un sistema de anclaje inyectado y postensado

Los sistemas de anclajes con torones se anclan por detrás de la superficie de falla mediante inyecciones de lechada de cemento, dicha inyección de lechada actúa como un adherente entre roca-anclaje. Este tipo de sistema funciona en el interior del talud y se divide en tres partes características: las zonas de anclaje o bulbo, zona libre, cabeza y cuñas.

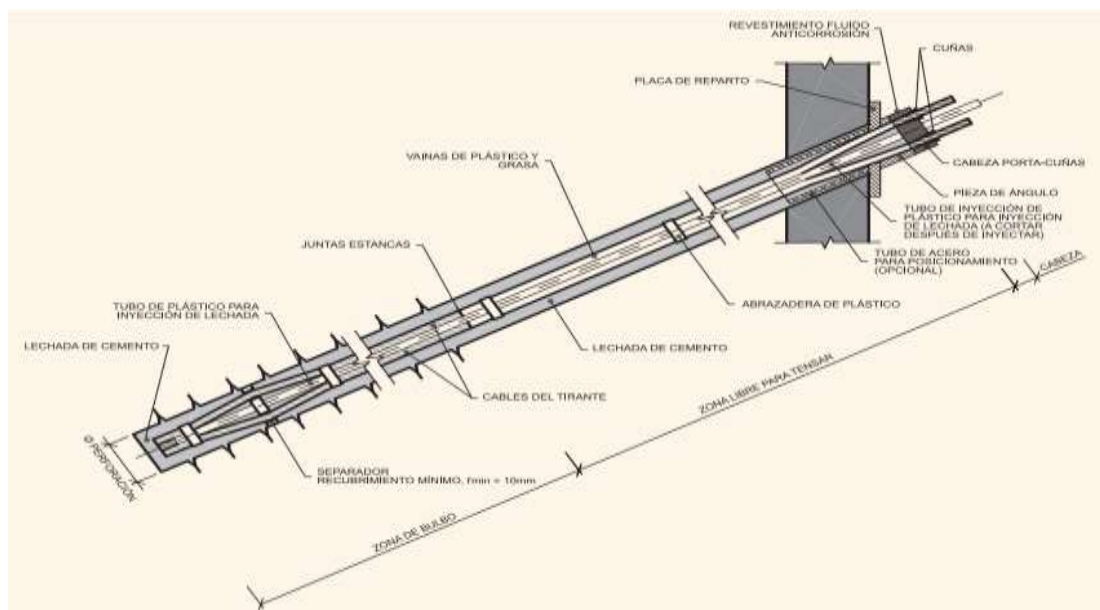
La **zona anclaje o bulbo** es el tramo donde se fija el torón mediante inyección de lechada de cemento, así, es un anclaje puntual cuando esta zona se encuentra ubicada en lo más profundo de la perforación y se denomina anclaje repartido cuando se distribuye, total o parcialmente, por toda la longitud del anclaje, lo que no permite el tensado, además, para Ayala y Andreu (1987), la zona de anclaje es el tramo de fijación en la profundidad del terreno en el que se generan la transmisiones de esfuerzos por medio del tensado, en el caso del anclaje puntual.

Asimismo, la **zona libre** es el tramo comprendido entre la zona de anclaje y la cabeza, esta zona está caracterizada por la separación que existe entre el anclaje y el suelo de la perforación que lo rodea, no obstante, esto le permite, al momento de ser tensado, deformarse con total libertad, además,

el torón del anclaje lleva un sistema de protección que puede ser de plástico o metálico; dicho sistema de protección aísla el cable del terreno de contacto, por otro lado, Ramírez y Alejano (2004) señalaron que este tramo se da lugar solo en anclajes tipo puntuales y repartidos.

La **cabeza** es la parte exterior del sistema de anclaje, en este tramo, se fija el anclaje a la superficie del talud, la que está conformada por la placa de reparto y un sistema de fijación; la placa de reparto se denomina así porque es la encargada de repartir la carga de tensado a la superficie del talud, esta placa puede ser metálica o de hormigón armado, especialmente, en anclajes activos, igualmente, sobre la placa de reparto se encuentra un sistema de fijación cuña-contracuña, la que se apoya previamente a una platina, sin embargo, estas cuña-contracuña, básicamente, son cabezas de torones por las que ingresan los torones para luego ser anclados y tensados.

Figura 29. Zonas características de un sistema de anclaje.



Nota. Tomado de *Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera*, por Dirección general de carreteras & Asociación de empresas de la tecnología del suelo y subsuelo [AETESS], 2001, https://www.mitma.es/recursos_mfom/0710300.pdf

2.4.3 Tipos de anclajes inyectados y postensados

Los anclajes tienen diversas clasificaciones según el porcentaje de carga inicial aplicada respecto con la carga nominal, la vida útil de los anclajes, la variación del tensado durante la vida útil de los anclajes, el mecanismo de inyección y tipo de inyección, así, la clasificación de anclajes según la carga inicial aplicada está dada por anclajes activos y pasivos.

Los **anclajes activos** se usan en suelos rocoso y en suelos arenosos, es el tipo de anclaje más usado en cuanto a su categoría, pues actúa inmediatamente luego de ser instalado y tensado, lo que genera una carga de compresión al talud; dicha carga, de acuerdo con la Dirección General de Carreteras & Asociación de Empresas de la Tecnología del Suelo y Subsuelo [AETESS] (2001), es una carga inicial del mismo orden de magnitud de la carga máxima del proyecto y no menor del 50% de la misma, lo que produce una reacción estabilizadora en el talud.

Los **anclajes pasivos** se usan solo en suelos rocosos, este tipo de anclaje actúa de una forma pasiva, pues este espera a que ocurra un deslizamiento para funcionar, por ello, se tensa con una carga inicial baja; según AETESS (2001), la carga inicial no debe ser menor que el 10% de la carga máxima de proyecto, porque el anclaje gana tracción cuando empieza el deslizamiento, lo que suscita fuerzas que se oponen al deslizamiento, no obstante, su eficacia depende del tamaño y dureza de las rugosidades en las juntas de la roca.

Los anclajes activos tienen algunas ventajas sobre los anclajes pasivos, una de ellas es que los activos aprovechan la resistencia intacta del macizo rocoso hasta antes del deslizamiento, debido a que cuando ocurre un deslizamiento, el macizo rocoso pierde propiedades resistentes, por otra parte, el deslizamiento puede llegar a romper el sistema de protección del anclaje quitándole resistencia al mismo en estos momentos cuando más lo necesita. Asimismo, la clasificación de los tipos de anclajes según el tiempo de vida útil se da entre los anclajes provisionales y los permanentes.

En este sentido, los **anclajes provisionales** son anclajes temporales que estabilizan el talud hasta ser remplazados por otro elemento de estabilización u otro tipo de obra, así, son de menores índices de seguridad y estos permanecen en el talud menos de dos años de vida útil.

Por su parte, los **anclajes permanentes** son anclajes que fueron diseñados para uso definitivo para la estabilización de un talud en particular, son de mayores índices de seguridad e incluyen un sistema de protección contra corrosión especialmente; su tiempo de vida útil debe ser mayor a dos años.

En esta línea de ideas, la clasificación de los tipos de anclajes según la variación del tensado durante la vida útil está dada entre los anclajes retensables y no retensables.

Los **anclajes retensables** permiten alterar su tensado a favor durante su vida útil, mediante tensado de cable con el equipo especializado para ese tipo de operaciones; una de las causas de esta operación en el sistema de anclaje retensable son las pérdidas de tensión en el cable, debido a fuerzas externas como sismos y entre otras que provoquen pérdidas de tensado en el cable. Para AETESS (2001), la longitud de cable que sobresale hacia la parte exterior de la cabeza del anclaje es de 60 cm para maniobrar la operación de retensado. Asimismo, los **anclajes no retensables** son anclajes que no permiten variar su tensado a favor durante su vida útil.

La clasificación de los anclajes conforme con el mecanismo de inyección se da entre inyección por gravedad e inyección a presión. La **inyección por gravedad** funciona por gravedad, para ello, se recomienda que la perforación, para el sistema de anclaje, no sea menor de 10° respecto con la horizontal; en el caso de las **inyecciones a presión, esto** funciona mediante un sistema de bombeo a presiones superiores a 50 psi, lo que es necesario para que la lechada de cemento penetre los suelos granulares o roca fracturada, además, este tipo de inyección aumenta el diámetro de perforación en la zona de anclaje, lo que incrementa el esfuerzo normal en las paredes de la perforación, a su vez, aumenta la fuerza de resistencia a la extracción de la zona del anclaje adherido (Suárez, 2012).

La clasificación de los tipos de anclajes según el tipo de inyección del bulbo se caracteriza por el hecho de que, si se utiliza, o no, el método de la reinyección, existen los siguientes tipos de inyección: única global (IU), repetitiva (IR), repetitiva y selectiva (IRS).

Los **anclajes con inyección única (IU)** se realizan una sola vez durante la vida útil del anclaje, así, la inyección se realiza mediante una tubería que forma parte del anclaje, la que llega hasta el fondo de la perforación, específicamente, en la zona de anclaje o bulbo; el procedimiento consiste en inyectar a baja presión desde el fondo de la perforación y el proceso termina hasta que la lechada de cemento sale por la boca de la perforación al exterior y con las mismas características de sus condiciones iniciales, esto permite la limpieza de restos de agua atrapada y detritos en el fondo y en las paredes de la perforación. Según AETESS (2001), este tipo de inyección tiene mayor efecto en rocas, suelos cohesivos duros y suelos granulares.

Los **anclajes con inyección repetitiva (IR)** se realizan previo a una inyección única y luego de unas horas, esto se lleva a cabo en fases y a través de varios puntos, según sea la configuración del sistema de inyección por la que se optó para el anclaje; este tiene dos variaciones, una es la adición de tuberías extras ubicadas a diferentes posiciones de la longitud del anclaje en la zona del anclaje o bulbo, otra variante es una sola tubería hasta el fondo de la perforación con un sistema de válvulas, las que se abren con la lechada de cemento y salen por las mismas, a nivel de la zona de anclaje o bulbo. Para AETESS (2001), este método de inyección se realiza con el objetivo de aumentar la capacidad de la zona de anclaje, además, es más efectivo en rocas fisuradas, blandas y en aluviales granulares gruesos y finos.

Los **anclajes repetitivos y selectivos (IRS)** se realizan antes de haber hecho una inyección única, para efectos de limpieza de la perforación; este método de inyección es similar al IR, pero la diferencia es que se cambian las válvulas por válvulas antirretorno mediante un mecanismo de varillaje o conductos de inyección controlado por un obturador de doble extremo y que se introduce por la tubería de inyección, el que tiene como función aislar la válvula antirretorno, lo que permite que se inyecte a presión de forma

localizada y, al finalizar la inyección, dicha válvula no permite el regreso de lechada de cemento por la misma. Para AETESS (2001), su uso es común en suelos finos y de consistencia media-baja.

2.4.4 Elementos de un sistema de anclaje inyectados y postensados

2.4.5 Materiales

Los **torones** están conformados por un trenzado de alambres de acero; para Suárez (2012), los cables o alambres que se vayan a necesitar para el sistema de anclaje dependen de la carga de diseño del tensado, sin embargo, se utilizan torones de siete alambres, dicho torón con una resistencia a la tensión máxima de 1,86 Mpa con diámetros de 0,5 – 0,6 pulgadas, además, estos torones deben cumplir con las especificaciones técnicas de la norma correspondiente ASTM A-416, por otra parte, una ventaja de estos torones es que se pueden cortar, con el equipo adecuado, a una cierta longitud y no se requiere ningún tipo de unión o soldadura.

Asimismo, la **lechada de cemento** es una mezcla de carácter adherente y protectora con propiedades mecánicas resistentes, se usa en sistemas de anclajes inyectados que actúan en la zona del bulbo como un adherente entre suelo-cable o torones, con el objetivo de transferir las fuerzas del tensado de los cable o torones hacia el suelo, además, actúa como un sistema de protección para el anclaje. Los materiales que intervienen son cemento, el agua y, en ocasiones, se implementan adiciones minerales como la silica fume, puzolana natural o un tipo de filler (material fino con partículas < 0,040 mm) que aporten propiedades resistentes a la lechada de cemento, igualmente, se utilizan aditivos con el fin de asegurar su manejabilidad y fluidez durante las inyecciones de lechada.

El **cemento** es el material más importante de la lechada de inyección en su uso para sistema de anclajes, por lo que se deben considerar las propiedades mecánicas del mismo; respecta con la adherencia y la cohesión, el cemento que se usa convencionalmente es el tipo de cemento Portland, pues este posee propiedades de fraguar o de endurecimiento al contacto con el agua, proceso que se denomina “hidratación”.

El cemento Portland es fabricado con agregados minerales especiales como calcáreos, calizas, alúmina y sílice, los que se extraen de la naturaleza de las arcilla, yeso y puzolanas, este último con propiedades anticorrosivas contra los sulfatos; dichos minerales contenidos en materia bruta se deben preparar mediante procesos adecuados para cada tipo de material según su composición y dureza, así, en el caso de las calizas deben pasar por un proceso de trituración debido a su dureza, por otra parte, las arcillas tienen una extracción sencilla mediante arrastre del material. Estos materiales preparados se mezclan entre sí y son sometidos a una molienda para obtener la mezcla en polvo, finalmente, pasan por hornos a altas temperaturas formándose el Clinker con formas de bola, y en frío el Clinker pasa por un sistema de molino para obtener el Clinker en polvo y se adiciona yeso, el que le brinda propiedades retardantes al fraguado del cemento (Córdova, 2014).

Existen diferentes tipos de cemento Portland según las aplicaciones específicas, así, se fabrican conforme con las especificaciones normativas de cada país; en Ecuador, según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 152:2012 (Cemento portland. Requisitos), se contemplan 10 tipos de cementos Portland, no obstante, el cemento Portland aplicado a lechadas de cemento para inyección de anclajes es del tipo I, II, III y V según sea el caso.

Tipo I. Para ser utilizado cuando no se requieren las propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.

Tipo IA. Cemento con incorporador de aire para los mismos usos del tipo I, donde se desea incorporación de aire.

Tipo II. Para uso general, en especial, cuando se desea una moderada resistencia a los sulfatos.

Tipo IIA. Cemento con incorporador de aire para los mismos usos del tipo II, donde se desea incorporación de aire.

Tipo II(MH). Para uso general, en especial, cuando se desea un moderado calor de hidratación y una moderada resistencia a los sulfatos.

Tipo II(MH)A. Cemento con incorporador de aire para los mismos usos del tipo II(MH), donde se desea incorporación de aire.

Tipo III. Para ser utilizado cuando se desea alta resistencia inicial o temprana.

Tipo IIIA. Cemento con incorporador de aire para los mismos usos del tipo III, donde se desea incorporación de aire.

Tipo V. Para ser utilizado cuando se desea alta resistencia a la acción de los sulfatos. (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2012, p. 1)

Los **aditivos** son sustancias químicas con efectos positivos en su aplicación según lo solicitado, con dosificaciones óptimas de acuerdo con las normativas pertinentes, los efectos positivos en mezcla inicial, durante el fraguado y en los resultados, de este modo, se usa en los diferentes tipos de hormigones, morteros o lechadas de cemento; generalmente, los aditivos ocupan el 5 % (depende del tipo de aditivo y de la dosificación de la mezcla) del peso del cemento en la mezcla y se agrega con el último agua de amasado, debido a que esto le da una buena distribución de producto en la mezcla, lo que resulta en una mezcla homogénea y tiene un efecto global, sin embargo, los aditivos se pueden emplear en la mezcla durante su elaboración o en obra, lo que depende de las solicitudes del proyecto.

Existen diferentes tipos de aditivos, según la norma ASTM C-494, la que clasifica los tipos de aditivos de conformidad con el efecto en el hormigón, los morteros o las lechadas de cemento.

Tipo A: aditivos reductores de agua.

Tipo B: aditivos retardantes.

Tipo C: aditivos aceleradores.

Tipo D: aditivos reductores y retardadores de agua.

Tipo E: aditivos aceleradores y reductores de agua.

Tipo F: aditivos reductores de agua de rango alto.

Tipo G: reductor de agua de rango alto y retardador. (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2001, p. 1)

En los sistemas de anclajes inyectados y postensados, usualmente, se emplean aditivos, dichos aditivos, para AETESS (2001), deben contener menos de 0,1 % en peso de cloruros, sulfatos o nitratos, debido a que son agentes corrosivos para los torones de acero; en la actualidad, por el desarrollo tecnológico de la industria química, estos aditivos se han adquirido por la mejora en sus propiedades químicas potenciadoras para las sollicitaciones en la obras civiles modernas, así, los aditivos más usados en este campo, debido a que brindan características de trabajabilidad y compacidad de la lechada de cemento, son los plastificantes o superplastificantes (también son llamadas fluidificantes o superfluidificantes y son reductores de agua), aditivos inclusores de aire y retardantes.

Los **aditivos plastificantes o fluidificantes** son una sustancia de composición variable, lo que puede tener sustancias de origen natural como los lignosulfonatos o las sales de ácidos hidroxicarboxílicos, de este modo, el aditivo fluidificante permite potenciar la fluidez en las pastas de cemento y en las mezclas globales para su diferente uso, bien sea para hormigones, morteros y lechadas de cemento, además, reduce el porcentaje de agua, esto de acuerdo con la Asociación Nacional de Fabricantes de Aditivos para Hormigón [ANFAH] (2018), así, reduce hasta un 8 % a 10 % del hormigón, lo que da como resultado un hormigón, mortero o lechada de altas resistencia, y una óptima trabajabilidad en su puesta en obra.

El efecto de reductor de agua del aditivo aumenta la resistencia del hormigón, mortero o lechada de cemento, economizando la adición extra de cemento, además, elimina la porosidad de la mezcla obteniendo como resultado un hormigón, mortero o lechada de cemento menos permeable.

El efecto de plasticidad o fluidez del aditivo sobre la pasta de cemento ocurre cuando el aditivo actúa a modo de dispersión en gránulos de partículas de cemento, mejorando la hidratación del cemento sin necesidad de aumentar la relación de agua-cemento (a/c), lo que resulta en una mejora en la manejabilidad, y facilita la compactación y puesta en obra.

Los **aditivos superplastificantes** tienen características similares a las de los fluidificantes normales, pero con una composición química diferente, la que incrementa, significativamente, los efectos de reducción de agua y fluidez, obteniendo como resultado hormigones de altas resistencia, además, mayor fluidez y trabajabilidad de la mezcla manteniendo la misma relación a/c.

La diferente composición química del aditivo que potencia sus efectos normales origina de las moléculas de sales de melamina formaldehído sulfonada y sales naftaleno formaldehído sulfonada; estas moléculas, al entrar en contacto con el cemento, reaccionan de una forma tensio-activa, lo que neutraliza las cargas electrostáticas de los flóculos de cemento, provocando la defloculación (dispersión del granulo en partículas de cemento más pequeñas), esto mejora la hidratación de las partículas de cemento, no obstante, el tipo de cemento es de gran importancia, pues este tipo de aditivos reaccionan directamente con él, por ello, se recomienda el tipo de cemento con contenido de aluminato tricálcico (C3A) y de alcalino en su composición, pues el aditivo superfluidificante responde con mayor efectividad (ANFAH, 2018).

Por su parte, los **aditivos inclusores de aire** se usan con la finalidad de aportar un poco más de fluidez a la mezcla en estado fresco y en etapa de endurecimiento tener una mayor durabilidad, esto ocurre porque, al entrar en contacto con la mezcla, se generan burbujas de aire que no absorben agua; para ANFAH (2018), estas burbujas de aire comprenden un diámetro del orden de 25 y 200 micras distanciadas y distribuidas, uniformemente, en la mezcla, dichas burbujas de aire son permanentes en la mezcla como en el hormigón endurecido.

Asimismo, los **aditivos retardantes** son utilizados para retrasar el tiempo de fraguado inicial y final del cemento, este tipo de aditivo no altera la demanda de agua en la relación a/c y mantiene la misma fluidez, pero en un mayor tiempo; en su aplicación, es importante aplicar con la última agua de amasado de la mezcla para asegurar una óptima distribución del producto y mayor efectividad en toda la mezcla de manera global, no obstante, si se agrega directamente sobre la mezcla, este no se distribuirá uniformemente y provocará que el efecto retardando no sea uniforme, lo que afecta en la puesta

en obra (ANFAH, 2018). Por otro lado, el **aditivo retardante** se debe a las especificaciones de la normativa correspondiente para cada caso, pues si ocurre una sobredosificación en la mezcla, este tendrá efectos contraproducentes, incrementando el tiempo de fraguado inicial proporcional a la sobredosificación, donde se ve afectada su resistencia inicial, pero poco la resistencia final; en cuanto a la determinación del tiempo aproximado de retardo como efecto del aditivo, es complejo determinarlo, puesto que influyen muchos factores en su efectividad, como la temperatura del lugar, la temperatura de los componentes del hormigón, el tipo de cemento, la dosificación del aditivo, entre otros. Es recomendable realizar ensayos de laboratorio con las mismas condiciones y componentes del lugar de la obra, con el fin de determinar una dosificación óptima del retraso del fraguado para ese lugar en específico.

En algunos casos, de conformidad con las solicitudes de la obra, se requiere el uso de aditivos con efectos fluidificantes y retardantes simultáneamente; dicha mezcla de aditivos puede ser de menores niveles de efectos o mayores efectos según sea el caso, en estos casos, se utilizan los aditivos tipo D y G, los que corresponden con los fluidificantes-retardantes y superfluidificantes-retardantes, así, dichos aditivos combinan sus características específicas para lograr tener un efecto simultáneo.

Estos aditivos son de uso común para las inyecciones de lechada de cemento en anclajes postensados, en vista de que le proporcionan una serie de efectos positivos en su proceso constructivo, en la trabajabilidad de la lechada de cemento en obra, y en las demandas de resistencias, fuerzas de adherencias, protección de agentes corrosivos, entre otros, respecto con las zonas de anclaje o bulbo (adherencia entre el refuerzo y el suelo mediante la lechada de inyección) y zonas de no adherencia (sistemas de protección).

La dosificación de la lechada de cemento está dada por una relación de agua-cemento (a/c) óptima entre 0,45 a 0,50, pero se deben seguir las especificaciones de normativas correspondientes para un mayor control.

Se debe utilizar una relación agua – cemento de 0,485 para todos los cementos portland y 0,460 para todos los cementos portland con incorporador de aire. La cantidad de agua de mezclado para otros cementos que no sean portland y portland con incorporador de aire, debe ser la necesaria, para que produzca una fluidez de 110 ± 5 , determinada según el punto 6.6.3 y se debe expresar como un porcentaje de la masa de cemento. (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2009a, p. 4)

El **procedimiento de elaboración** de las lechadas de cemento se realiza siguiendo las especificaciones de la norma NTE INEN correspondiente; en cuanto a los equipos de laboratorio a utilizar, estos están especificados dentro de la normativa NTE INEN 155:2009.

4.3 Materiales. Los materiales, sus proporciones y cantidades, deben cumplir con los requisitos indicados en el método particular para el cual la pasta o mortero está siendo preparada.

4.4 Procedimiento para la mezcla de pastas. Colocar la paleta y el tazón secos en la mezcladora, en posición de mezclado, luego introducir el material para una mezcla dentro del tazón y mezclar de la siguiente manera:

4.4.1 Colocar toda el agua de mezclado en el tazón.

4.4.2 Añadir el cemento al agua y dejarlo 30 segundos para que absorba el agua. 4.4.3 Arrancar la mezcladora a velocidad baja ($140 \text{ rpm} \pm 5 \text{ rpm}$) y mezclar durante 30 segundos.

4.4.4 Detener la mezcladora por 15 segundos, durante este tiempo empujar hacia abajo dentro de la mezcla, toda la pasta que se haya adherido a los lados del tazón.

4.4.5 Arrancar la mezcladora a velocidad media ($285 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$) y mezclar por 60 segundos. (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2009b, p. 1)

Las **propiedades resistentes y parámetros** que deben ser medidos en las lechadas de cemento son: la resistencia a compresión (28 días), la fluidez, la exudación y la temperatura, dichos parámetros se deben realizar siguiendo la especificación de las normas correspondientes.

La **resistencia a la compresión** mínima, según la norma ACI 318-2019, indica que es $175 \frac{kg}{cm^2}$, esta debe ser medida a los siete días mediante ensayos de compresión simple rigiéndose de las especificaciones de las normativas correspondiente para el ensayo mencionado (Mazuelos y Mercado, 2020).

La **fluidez de la lechada** debe ser medida inicialmente y 30 minutos después, así, en la norma ASTM C939 se establece el proceso para realizar una prueba estándar para medir la fluidez, además, se aplica el método de cono de flujo para medir la viscosidad en estado fluido de la lechada de cemento (Córdova, 2014).

2.4.6 Sistemas y materiales de protección contra agentes corrosivos

La vida útil de los anclajes inyectados y postensados está condicionada por la corrosión en los torones del anclaje, así, al estar estos anclados en determinadas profundidades de una montaña o cerro son más propensos a ser afectados por este fenómeno, no obstante, si los torones del anclaje se ven afectados por la corrosión, estos acortarían su tiempo de vida útil drástica y fácilmente de años a meses, aproximadamente.

Existen diversos factores que potencian el fenómeno de la corrosión en el acero, así, de acuerdo con Muñoz (2011), los principales factores que potencian este fenómeno son los siguientes:

- El nivel de PH de los suelos menores a cuatro, son suelos potencialmente ácidos.
- Contenidos altos de humedad en el suelo, especialmente, en suelos permeables, esto propaga el desarrollo de microorganismos en el suelo afectando a los aceros por corrosión de bacterias.
- Corrosión electroquímica, debido al flujo de aire en suelos con contenidos orgánicos, lo que genera ácidos orgánicos.

- Nivel de salinidad del tipo de suelo.
- Procesos microbiológicos.

Por lo tanto, es preciso implementar un sistema de protección en los anclajes, especialmente, en los cables y torones, debido a que son los que están en contacto directo con el suelo, además, el tipo de corrosión depende de los diversos factores que potencian la corrosión que puedan existir en el suelo donde se instalarán los sistemas de anclajes; estos sistemas de protección no deberán interferir en la instalación del sistema de anclaje y deben tener propiedades resistentes y flexibles, para resistir todo tipo de deformaciones, además, deben ser de buena calidad y garantizar su durabilidad en todas las fases del montaje de los sistemas de anclajes.

Existe algunos tipos o niveles de protección contra la corrosión, así, según Muñoz (2011), existen dos clases de protección:

- Clase 1: de nivel máxima, en la que intervienen dos mecanismos de protección, es decir, mediante lechada y recubrimiento de epoxy en los torones o lechada junto con tubería de cloruro de polivinilo (PVC) corrugada, ambas alternativas son de tipo de vida útil permanente.
- Clase 2: de nivel intermedia, en la que interviene un mecanismo de protección, es decir, mediante lechada y barra de acero; esta alternativa es de tipo de vida útil temporal o permanente, de ser diseñada para ser permanente, esta dependerá de la baja o nula agresividad del tipo de suelo.

Para la selección óptima del sistema de protección a usar, se deberán analizar varios aspectos, entre los principales, la agresividad por corrosión de los suelos donde se realizará el proyecto, las probabilidades de fallas y la economía, esto de acuerdo con el tiempo de vida útil proyectado del sistema de protección.

2.4.7 Dispositivos auxiliares de un anclaje

Los sistemas de anclajes inyectados y postensados, en cuanto a los torones, necesitan de accesorios auxiliares con fines constructivos para una óptima colocación e instalación de los torones, entre ellos, se encuentra la

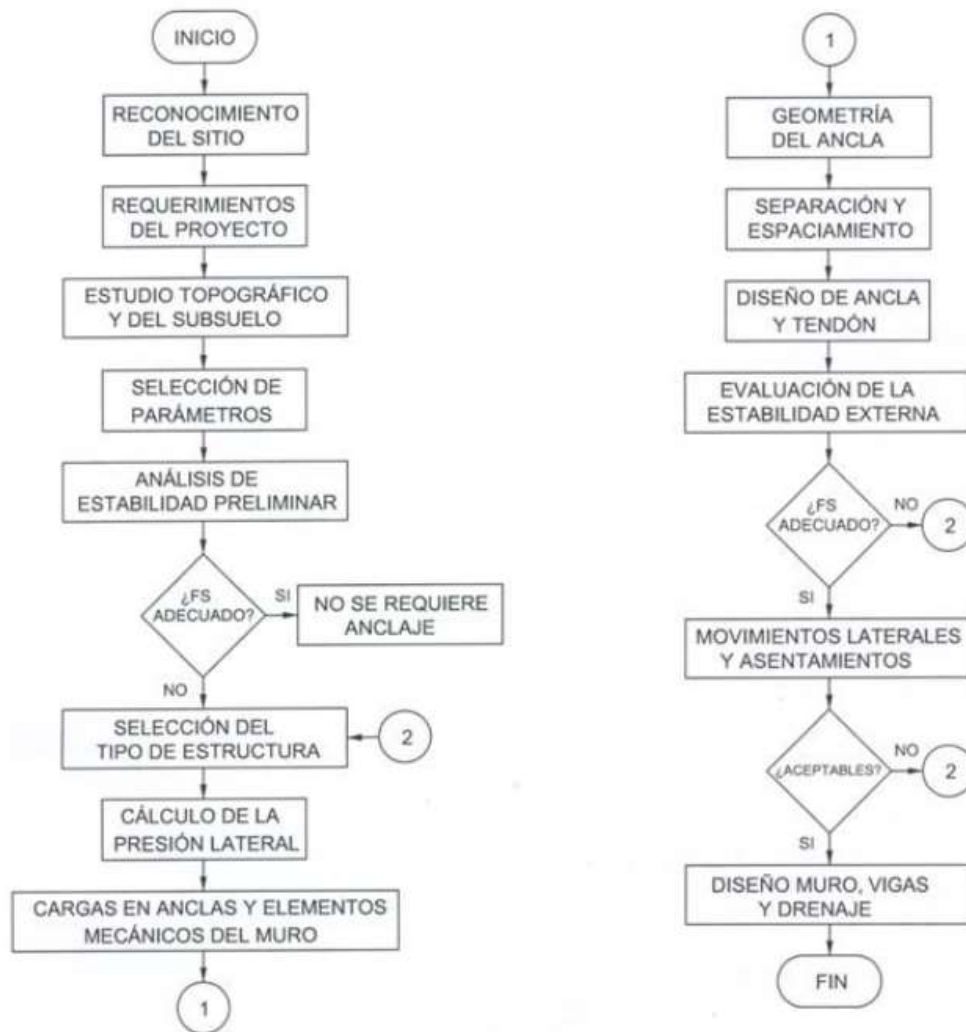
funda de protección, el obturador, los centradores, los separadores, los opresores y la punta metálica.

- La **funda de protección** es una manguera PVC que contiene los cables o torones desde la cabeza hasta el inicio de la zona del bulbo en conexión con el obturador.
- El **obturador** tiene como función aislar la zona del bulbo de inyección del suelo, mediante un sello impermeable (tapón de hule).
- Los **centradores y separadores** se utilizan cuando el sistema de anclajes lleva más de un torón, estos se colocan a lo largo de la longitud de los cables para centrarlos y separarlos, de esta forma, se obtiene un armado uniforme y compacto a la hora de la instalación.
- Los **opresores** son amarres de plásticos o de alambre recocado, su función es apretar el conjunto de tuberías y cables centrados y separados, para evitar movimientos y permanecer firmes.
- La **punta metálica** se ubica en la punta de los torones como una especie de guía, esta facilita la introducción de los cables a través de la perforación, además, a esta se une mediante soldadura una varilla de acero de $\frac{1}{2}$ " que mide lo mismo que la longitud del anclaje, con el fin de darle rigidez al anclaje, esto facilita y agiliza su instalación.

2.5 Consideraciones importantes en el diseño de anclajes

Existe una variedad de tipos de estructuras que se pueden anclar o sistemas de anclajes independientes y diferentes métodos constructivos en la actualidad, pero, previo a su selección, es preciso realizar diseños geotécnicos y estructurales enfocados en la interacción suelo-estructura, sin embargo, Monroy (2007) sugiere un proceso general de la metodología de operaciones de diseño por medio de un diagrama de flujos.

Figura 30. Diagrama de flujo de metodología convencional de operaciones para el diseño de anclajes



Nota. Tomado de *Anclajes en suelos*, R. Monroy, 2007, <http://132.248.9.195/pd2007/0614352/0614352.pdf>

Los sistemas de anclajes inyectados y postensados deben diseñarse para que cumplan con las demandas requeridas por los taludes inestables, lo que aumenta su factor de seguridad para dar un efecto estabilizador, mediante un análisis de inestabilidad de taludes en el diseño geotécnico, el que permite calcular la fuerza de anclaje para alcanzar un factor de seguridad óptimo y seguro; dicho factor de seguridad se encuentra entre 1,5 y 2 para condiciones estáticas de corto y largo plazo, no obstante, para zonas sísmicas, el factor de seguridad mínimo es 1,3 (Monroy, 2007).

Se deberá analizar el equilibrio global de la zona del talud en que se encuentre el anclaje y el equilibrio local, este último debido al comportamiento y efecto inmediato en las zonas más próximas al anclaje, por otra parte, los parámetros de diseño principales de un sistema de anclaje son la carga nominal de postensado, el diámetro de perforación, la longitud del anclaje (longitud de anclaje o bulbo y longitud libre) y la sección de cable.

La **carga nominal del anclaje**, según Suárez (2012), es menor o igual al 60 % de la carga última a la tensión del torón, además, se deberán someter a ensayos pre-esforzándolo 1,5 veces la carga de diseño para anclajes permanentes y 1,2 anclajes temporales, no obstante, se toma registro de la magnitud y deformación del torón en los minutos 0, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60. Existen diferentes tipos de ensayos de prueba de carga, pero, generalmente, se realiza con un gato hidráulico para tensar el torón y un sistema de calibrador para la lectura de las deformaciones, asimismo, se debe analizar la curva deformación vs. carga y determinar los tipos de movimientos que ocurren durante el tensado y el retiro del tensado, que es cuando empieza el proceso de descarga, pues la carga que recibe el suelo no se vuelve cero al eliminar la carga de tensado del gato hidráulico, por lo que hay un movimiento: el movimiento residual.

En el ensayo de la prueba de carga de los torones, se mide el movimiento total, el que está dado por la deformación del torón, este empieza en el momento en que el bulbo transfiere carga al suelo, la deformación del torón por el movimiento residual, el movimiento o desplazamiento suelo bulbo y bulbo-torón.

El ensayo de prueba de carga en el tipo de suelo cohesivo y rocoso se tensiona a la carga máxima; para Suárez, (2012), si la deformación a los primeros cinco minutos es menor que 0,76 milímetros, se espera que el ancla funcione eficazmente, además, la deformación del torón en roca a los 10 minutos debe ser menor a 1 milímetro, de lo contrario, si se producen deformaciones grandes, esto indica que la capacidad del bulbo no es capaz de resistir la carga.

El **diámetro de la perforación** se realiza con máquinas perforadoras de uso convencional, así, el diámetro de perforación depende del número de torones por tendón y la metodología de la perforación según el tipo de suelo.

Figura 31. *Diámetro de perforación de ancla.*

Anclajes de cables		
Nº de Cables	Diámetro mínimo exterior de la entubación (mm)	Diámetro mínimo de la perforación no entubada (mm)
2 a 4	133	105
5 a 7	152	125
7 a 12	178	140
Anclajes de barra		
$\phi \leq 25$	114	85
$25 < \phi \leq 40$	133	105

Nota. Tomado de *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de taludes*, P. Ramírez y L. Alejano, 2004, https://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf

La longitud de la **zona del bulbo de anclaje**, para Suárez (2012), depende de las cargas de diseño de tensado y la resistencia al corte del tipo de suelo que rodea la zona de bulbo de anclaje; en el caso de suelos finos, la longitud de zona de bulbo de anclaje es significativamente extensa, por lo general, en su uso son longitudes de 3 m o superiores.

Los esfuerzos que actúan en la superficie de la longitud de la zona cementada en el bulbo son esfuerzos no uniformes en su distribución, pero, para diseño, se asumen esfuerzos uniformemente distribuidos.

En rocas, por lo general, es admisible el uso de los bulbos de anclajes y su funcionamiento es bueno, debido a las propiedades de resistencia alta y buena calidad, sin embargo, las resistencias, para Suárez (2012), van desde 69 kPa en lutitas arcillosas hasta 2070 kPa en granito sano o en roca caliza.

En suelos granulares o arenosos, el uso de bulbos de anclaje ha tenido un funcionamiento adecuado a largo plazo, lo que permite una óptima transmisión de esfuerzos al suelo, por otra parte, según Suárez (2012), el uso de bulbos de anclajes es viable en suelos no cohesivos con número de golpes mayores a 10 por unidad de pie, obtenido de ensayo de penetración estándar (SPT).

En suelos arcillosos o suelos cohesivos blandos, el uso de bulbos de anclajes presenta deficiencias en la capacidad de resistencia a largo plazo; para Suárez (2012), se espera un comportamiento con poca eficiencia de los bulbos de anclaje en este tipo de suelo, con resistencia a la compresión sin confinamiento de 96 kPa y resistencias remoldeadas de 48 kPa, además, se espera que se produzcan esfuerzos de fatiga, por ello, no se recomienda utilizar bulbos de anclaje en suelos orgánicos, sino, en lo posible, extender la longitud del ancla hasta capas de suelo con mejor capacidad, asimismo, no se recomienda usar anclas en rellenos.

De este modo, la **longitud de anclaje** es la longitud no adherida del ancla, la que está ubicada entre la zona de anclaje y la superficie o cabeza del ancla; esta longitud libre permite tensar el ancla hasta longitudes donde se encuentren alejados la zona del bulbo y la superficie de falla, por detrás de la zona de zona de falla, con el objetivo de estirar el ancla hasta capas de suelo más resistentes. Así, Suárez (2012) sugiere que la longitud libre para torones sea de 4,5 m y para varillas 3 m, dado que a estas longitudes se pueden evitar pérdidas de presfuerzo en los torones, como consecuencia de la relajación y fatiga de los aceros, suelo y cabeza del anclaje, sin embargo, la longitud total del anclaje no supera los 45 m.

La localización del ancla, en su uso independiente (sin necesidad de una estructura de contención principal), con una base de apoyo generalmente de hormigón armado, tendrá una forma que dependerá del diseño de los planos; es eficiente en suelos firmes como rocas o suelos duros, sin embargo, no es recomendado en suelos blandos, pues se generan deformaciones diferenciales entre anclas independientes, lo que hace que pierda carga de tensionamiento de las anclas (Suárez, 2012).

El ángulo de inclinación del anclaje es el ángulo respecto con la horizontal de la superficie del talud; para el diseño del ángulo de las anclas, es de gran importancia considerar algunos de los siguientes aspectos generales:

- Se debe considerar que, por encima de la zona de anclaje, existan por lo menos 5 m del tipo de suelo conformado por el talud.
- Es recomendable, con base en la experiencia en la práctica, que el ángulo de inclinación de las anclas sea entre 10° y 30° respecto con la horizontal.
- Se requerirán métodos especiales en la inyección de lechada de cemento, en caso que el ángulo de inclinación del anclaje sea menor 10° respecto con la horizontal
- No es recomendable que el ángulo de inclinación del ancla sea mayor a 45° , dado que puede incrementar significativamente las fuerzas deslizantes y disminuir las fuerzas antideslizantes del anclaje.
- Se recomienda que el ángulo del anclaje respecto con la horizontal sea menor que el ángulo de la normal al plano de falla en lo relativo con la horizontal, con el objetivo de que se produzca una fuerza antideslizante como componente de la resultante de la fuerza del anclaje.
- El ángulo óptimo del anclaje respecto con la horizontal se obtiene cuando la suma del ángulo de buzamiento del anclaje y del plano de falla es igual al ángulo de fricción, lo que resulta en menores fuerzas de tensado, por lo tanto, se da mayor ahorro de acero, dado que se requieren menos hileras de torones.
- Existe un mayor ahorro económico utilizando el ángulo óptimo a que si se colocan a 45° (Suárez, 2012).

2.6 Proceso constructivo

La **base de apoyo del sistema de anclaje** puede ser la base de apoyo hecha de hormigón armado como zapatas, vigas de atado o de la geometría de los planos de diseño, sin embargo, pueden ser elementos estructurales

como estructuras primarias tales como muros de contención, muros en cantiléver o pantallas y hormigón proyectado “*soil nailing*”, estos tipos de elementos son construidos *in situ*.

En la **fabricación del anclaje** en el proceso de su elaboración o armado de piezas, cada proveedora fabricante tiene sus propios elementos de complementos y auxiliares. La habilitación del ancla, según Jiménez (2021), se da por algunos pasos importantes, como los siguientes:

- La disponibilidad de la punta metálica lista para ser unida a la punta del ancla.
- Habilitación de cable o torón de acero con número de hileras de seis a 12 según el diseño correspondiente para el caso.
- Limpieza de los torones, estos no deben contener residuos de óxido; por lo general, se utiliza cepillo con cerdas metálicas.
- Unión de la punta metálica con la punta del ancla.
- Extensión de los torones en una superficie plana para colocar los separadores, los que se colocan entre los torones para ajustarlos predeterminadamente del separador, luego, estos se fijan al separador con alambre recocado o zunchos de plástico.
- Luego de ello, se colocan la tubería de inyección de lechada, a través del centro de los separadores de los torones, además, su longitud depende de la longitud total del anclaje, lo que va desde la cabeza del anclaje hasta, aproximadamente, 10 cm antes de la máxima profundidad de la perforación; el diámetro de la tubería depende del método de inyección, pero está entre ½” a 1” para inyección definitiva y para reinyección, respectivamente.
- Prosigue la instalación del obturador, el que se coloca donde comienza la zona de anclaje o bulbo y donde termina la zona libre de anclaje.
- El siguiente paso es la colocación de la tubería secundaria de la inyección de lechada de cemento, esta va desde el extremo libre de los torones hasta el extremo inferior del obturador.

- El siguiente paso es el engrasado de los torones de la zona libre o longitud libre, la que está dentro de la funda de protección; se debe asegurar que tenga un espesor de engrasado de, por lo menos, 0,25 milímetros.
- Por último, se debe colocar la funda de protección, cuya longitud está definida por la longitud libre o zona libre del anclaje, además, son generalmente tubos lisos PVC; en cuanto a su diámetro, va a depender del número de torones y las tuberías de inyección básicamente, donde se debe asegurar que sea un diámetro que cubra estos, lo que no altere el modo del armado de los torones-tuberías, así, dicha funda de protección se coloca y se fija desde el comienzo de la zona libre en unión con el obturador hasta la cabeza del anclaje.

Respecto con el último paso de la habilitación de las anclas en relación con la protección de los torones como medida de prevención, en caso de que la funda de protección se rompa o fisure, se generarían infiltraciones directas a los torones de algunas sustancias corrosivas para los mismos, por ello, se debe poner protección individual para cada torón mediante mangueras PVC.

La **perforación** depende de varios factores, en cuanto al diámetro de la perforación, este es en función del diámetro nominal del anclaje, principalmente, por el número de torones.

Figura 32. *Diámetros mínimos de perforaciones en función del número de torones o cables.*

Nº DE CABLES	DIÁMETRO MÍNIMO EXTERIOR DE LA ENTUBACIÓN (mm)	DIÁMETRO MÍNIMO DE LA PERFORACIÓN NO ENTUBADA (mm)
TIPO 1. ANCLAJES PROVISIONALES CON INYECCIÓN ÚNICA GLOBAL (IU)		
2 a 5 cables	114	85
6 ó 7 cables	133	105
8 a 12 cables	152	125
TIPOS 2 A Y 2 B. ANCLAJES PROVISIONALES CON REINYECCIÓN (IR, IRS)		
2 ó 3 cables	114	85
4 ó 5 cables	133	105
6 a 10 cables	152	125
TIPOS 3 Y 4 A. ANCLAJES PERMANENTES SIN REINYECCIÓN SELECTIVA (IU, IR)		
2 a 4 cables	133	105
5 a 7 cables	152	125
7 a 12 cables	178	140
TIPO 4 B. ANCLAJES PERMANENTES CON REINYECCIÓN SELECTIVA (IRS)		
2 a 4 cables	152	125
5 a 7 cables	178	140
7 a 12 cables	200	165

^(*) Se considera en todos los casos un diámetro de cable no mayor de 15,3 mm (0,6 pulgadas)

Nota. Tomado de *Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera*, por Dirección general de carreteras & Asociación de empresas de la tecnología del suelo y subsuelo [AETESS], 2001, https://www.mitma.es/recursos_mfom/0710300.pdf

Figura 33. Diámetros mínimos de perforaciones en función del número de torones o cables.

DIÁMETRO DE LA BARRA (mm)	DIÁMETRO MÍNIMO EXTERIOR DE LA ENTUBACIÓN (mm) (**)	DIÁMETRO MÍNIMO DE LA PERFORACIÓN NO ENTUBADA (mm)
TIPO 5. ANCLAJES PROVISIONALES CON INYECCIÓN ÚNICA GLOBAL (IU)		
$\phi \leq 25$	90	68
$25 < \phi \leq 40$	101	85
TIPO 7. ANCLAJES PERMANENTES CON INYECCIÓN ÚNICA GLOBAL (IU)		
$\phi \leq 25$	114	85
$25 < \phi \leq 40$	133	105
TIPOS 6 A, 6 B, 8 A Y 8 B. ANCLAJES CON REINYECCIÓN (IR, IRS)		
$\phi \leq 20$	133	105
$20 < \phi \leq 25$	152	114
$25 < \phi \leq 40$	178	133

(**) Siempre que no existan empalmes en la barra

Nota. Tomado de *Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera*, por Dirección general de carreteras & Asociación de empresas de la tecnología del suelo y subsuelo [AETESS], 2001, https://www.mitma.es/recursos_mfom/0710300.pdf

Otro factor es el tipo de suelo, del que va a depender el tipo de perforación y el fluido de perforación para limpieza del barreno; de conformidad con Castro (2019), si en el lugar de perforación se tienen estratos de suelos tobáceos o suelos con propiedades similares, es recomendable realizar la perforación mediante brocas tipo drag o tricónica y el fluido para limpieza es aire a presión, asimismo, se puede usar agua siempre y cuando el suelo no altere sus propiedades resistentes al entrar en contacto con el agua. Respecto con suelos contenidos de material con boleos, se sugiere, en cuanto al tipo de perforación, utilizar martillo neumático a rotopercusión y aire como fluido para limpieza del barreno, no obstante, en caso de suelos inestables, se recomienda cementar el suelo con lechadas de cemento de baja resistencia para darle mayor soporte previo a la perforación.

En este orden de ideas, la **introducción del anclaje** se realiza manualmente llevando el anclaje a la boca de la perforación y se introduce paulatinamente; este proceso se debe realizar cuidadosamente desde que se lleva a la boca de la perforación, para evitar arrastrarlo, con el fin de que este permanezca limpio e intacto. En cuanto a la introducción del anclaje, se debe realizar de forma alineada al eje de perforación, evitando arrastrar por las paredes de la perforación, para evitar taponamientos de las tuberías y mangueras del anclaje.

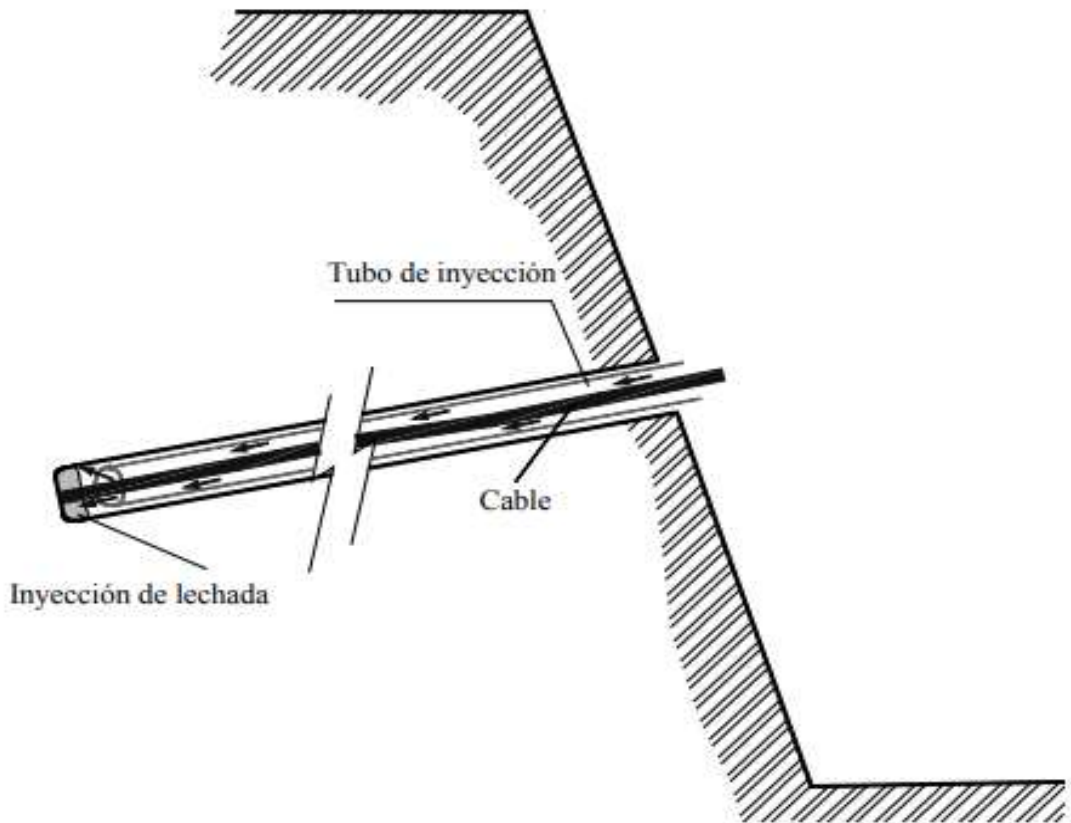
La inyección de lechada de cemento, en cuanto a las observaciones y control de la perforaciones respecto con las pérdidas de fluido de la perforación, implica analizar las condiciones de posible pérdidas de inyección, así, si las probabilidades son altas, se recomienda llevar acabo inyecciones previas, mediante varias inyecciones de lechada o mortero de cemento según la permeabilidad del terreno, además, en roca, se puede usar agua como inyecciones previas, siempre y cuando no se vean afectadas las propiedades resistentes del estrato (AETESS, 2001).

Se recomienda hacer algunas revisiones previo a la inyección de los anclajes, entre ellas, chequear el obturador, asegurando que este funcione correctamente y cumpla sus funciones, lo que garantiza que se ejecute el sellado en la unión de la longitud libre y la zona del bulbo (Jiménez, 2021).

El tiempo de ejecución de la inyección de lechada de cemento se debe realizar, inmediatamente, luego de la colocación del anclaje, para evitar desmoronamiento o alteraciones de las paredes de la perforación, sin embargo, según Ortuño et al. (s.f), el tiempo de ejecución de la inyección de lechada de cemento está en función del tipo del material del terreno de perforación; en roca sin contenido de agua, se puede realizar la inyección al siguiente día, en suelos con agua o alta humedad, se debería ejecutar la inyección de lechada de cemento en cada anclaje antes de iniciar la perforación del siguiente, asimismo, en suelos y en tipos de suelos con contenidos de agua y humedades intermedias, se pueden inyectar al final de las perforaciones y colocaciones de anclajes.

La inyección de lechada de cemento, para Ramírez y Alejano (2004), implica llevar a cabo el bombeo de la lechada mediante tuberías flexibles; en todos los casos, la inyección debe realizarse con un llenado de abajo hacia arriba, así, la inyección termina cuando sale lechada de cemento por la boca de la perforación mínimo por un minuto.

Figura 34. *Inyección de lechada de cemento de abajo hacia arriba.*



Nota. Tomado de *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de taludes*, por P. Ramírez y L. Alejano, 2004, https://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf

La preparación de la lechada de cemento de inyección preparada *in situ* se realiza mediante una mezcladora que le debe proporcionar una consistencia uniforme a los cinco minutos de haber iniciado el proceso de mezclado, luego, debe permanecer en constante mezclado con un sistema de paletas incorporado en la mezcladora, para mantener la mezcla bien fluida durante la inyección, por otra parte, en cuanto a la dosificación, la mezcla tiene una relación de agua-cemento (a/c) que va del orden de 0,4 a 0,55, dicha

dosificación se ha determinado que produce mezclas con bajos niveles de exudación de agua de la mezcla y proporciona altas resistencias (Suárez, 2012).

El **tensado del anclaje** se ejecuta una vez que haya fraguado la mezcla de inyección, así, para lechadas de cemento o morteros, se debe dejar fraguar y esperar hasta que haya alcanzado la máxima resistencia, por lo general, a los 28 días, sin embargo, esto depende del diseño de la mezcla y los ensayos de laboratorio correspondientes antes de su aplicación en campo.

El tensado del anclaje está a cargo de personal con experiencia y especialista en el tema, dicho personal debe asegurar que los equipos que se van a usar para la operación del tensado estén calibrados, al menos, una vez por año, para garantizar un correcto funcionamiento de los mismos, de este modo, se recomienda que, de preferencia, la ejecución del tensado del anclaje sea realizado en una sola maniobra; además, como prevención ante posibles esfuerzos de flexión significativos, se provocan grietas o fisuras en los elementos de apoyo, debido a altas cargas nominales, así, se tensan los anclajes de forma alterna en cuanto a la distribución del número de anclajes, no obstante, las bases de apoyo no deberán experimentar distorsión angular mayores de 1/750 (AETESS, 2001).

En la parte final del tensado, el corte del sobrante de los torones tiene una longitud que depende si es retensable o no retensable; en caso de ser retensable, se deja, aproximadamente, a 60 cm de longitud, finalmente, se coloca una tapa metálica o capuchón de hormigón u otro material resistente y que proteja los torones del clima especialmente.

Figura 35. Elementos que intervienen en el proceso de tensado de anclajes



Nota. Tomado de *Anclajes y bulones*, por Ortuño et al. s.f, <http://www.urielyasociados.es/img/formacion/ANCLAJES%20Y%20BULONES%20PPT.pdf>

Figura 36. Doble tensado simultaneo de anclajes mediante gato hidráulico



Nota. Tomado de *Anclajes y bulones*, por Ortuño et al. s.f, <http://www.urielyasociados.es/img/formacion/ANCLAJES%20Y%20BULONES%20PPT.pdf>

2.7 Métodos constructivos de tratamiento de taludes inestables con pernos de anclaje y anclajes presforzados

2.7.1 Muros claveteados “Soil Nailing”

El método de muros claveteado o “*Soil Nailing*” es una adaptación de la metodología de trabajo aplicada en la construcción de túneles, así, se dio su uso en excavaciones subterráneas en terrenos rocosos y la estabilización de taludes o suelos mediante barras de acero con inyecciones de lechada de cemento desde los años sesenta, así, luego de sus primeros usos en varios países, se observó, con los resultados, que con la metodología de *Soil Nailing* se tenía un trabajo terminado en corto tiempo, mayor efectividad y menores costos contra otros métodos competentes de la época (Alvino y Velásquez, 2021).

Los muros claveteados son un sistema de soporte y estabilización, soporte a manera de contención y estabilización como reforzamiento interno del muro, así, son sistemas de anclajes pasivos; debido a que no son anclados, los muros claveteados pueden ser temporales o permanentes, según el tiempo de vida útil proyectado (Alvino y Velásquez, 2021).

Este sistema está conformado, principalmente, por el anclaje mediante barras de acero corrugadas e inyección de lechada de cemento y una pantalla de hormigón proyectado o “shotcrete” con mallas de acero electro-soldadas o armado de acero convencional.

Las **barras de acero** pueden ser sólidas o huecas según sea el caso, así, el diámetro está en función del diseño geotécnico-estructural, lo que se basa en los cálculos de los parámetros del suelo como cohesión, ángulo de fricción interna, peso unitario, entre otros, no obstante, para Suárez (2012), se usan barras de acero con diámetros de 19 y 43 milímetros (barras número 6 a 14) con longitudes comerciales de 6, 12 y 18 m (esto puede variar según el país y los diámetros comerciales), así como con resistencias de 420 a 520 Mpa (mayores a $4200 \frac{Kg}{cm^2}$).

En cuanto a las barras de acero huecas, para Cerda (2020), son barras de acero diseñadas para un solo uso, asimismo, son autoperforantes y están esquipadas con brocas de sacrificio, debido a que son de un uso definitivo.

Por otro lado, la **lechada de cemento** es una mezcla de agua, cemento y aditivos, en algunos casos, se usan morteros; dicha mezcla consiste en una dosificación de la relación a/c, para la que, conforme con Suárez (2012), se utiliza cemento tipo I y esta relación a/c varía entre 0,4 a 0,5, aunque en ocasiones se usan lechadas más densas o de mayor viscosidad con un revenimiento “slump” de 30 milímetros aproximadamente, sin embargo, este tipo de lechada de mayor viscosidad se emplea en suelos de roca fracturada y permeable.

Los **aditivos** que se utilizan en la lechada de cemento o morteros para muros claveteados son para reducir la retracción y aumentar la fluidez, lo que mejora la trabajabilidad de la mezcla; su aplicación deberá regirse a la norma pertinente ASTM C-150, por otra parte, la mezcla deberá tener una resistencia mínima mayor de $180 \frac{Kg}{cm^2}$ a los siete días.

Igualmente, las **pantallas de hormigón proyectado** son placas de hormigón armado o con malla metálica fundida en sitio mediante hormigón proyectado “shotcrete”, así, el armado de acero debe ser diseñado por el ingeniero estructural a cargo del rubro o la disposición de utilizar malla metálica; este último dependerá de la vida útil proyectada de la pantalla, de este modo, si es permanente, se usa armadura de acero tradicional. En cuanto a la mezcla de hormigón proyectado, se dosifica con una relación a/c de 0,4, además, se ha comprobado que se obtienen mejores resultados con el hormigón proyectado con una mezcla húmeda; estas pantallas o placas tienen espesores que van de 15 y 30 cm (Suárez, 2012).

Por su parte, el **sistema de drenaje** de un muro claveteado es importante en lugares donde existen precipitaciones frecuentes e intensas, puesto que estas precipitaciones van a escurrir superficialmente y un porcentaje va a infiltrarse, esto en función del nivel de permeabilidad del terreno; dichos procesos de escurrimiento e infiltraciones afectan la resistencia del refuerzo o clavos de muro, disminuyendo su estabilización

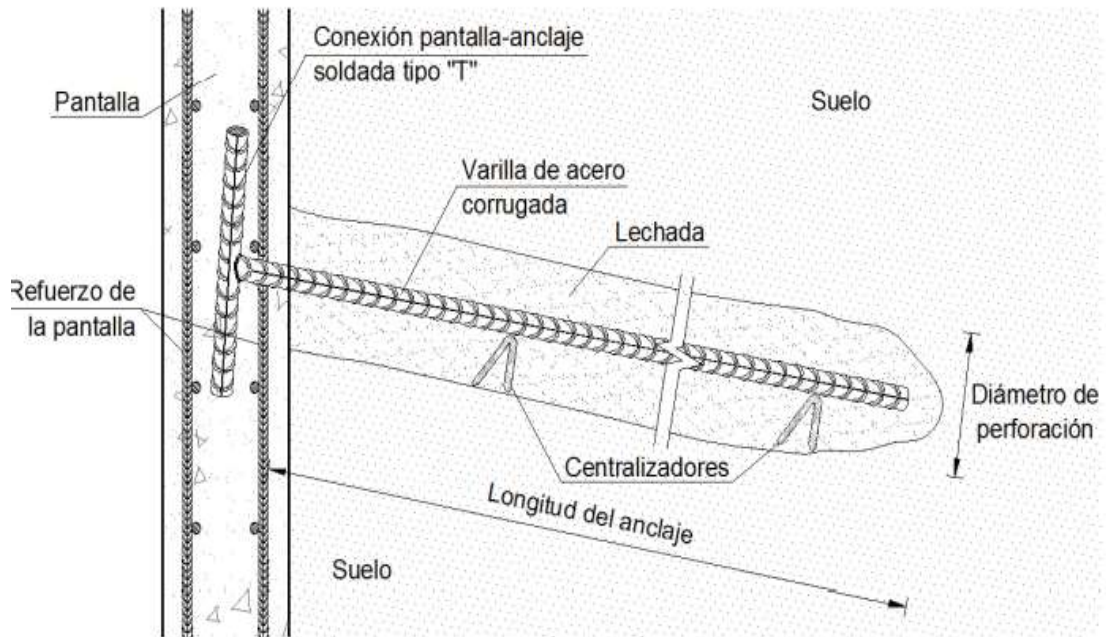
global, por ello, se utilizan geodrén planar, un geocompuesto de geomallas con dos capas de geotextil no tejido, este se ubica entre la pantalla y el suelo en forma vertical y entre los clavos, los que tienen un ancho de 30 a 40 cm y con separaciones iguales que la separación de los clavos, las que llegan hasta el pie del talud donde descargan a un subdrén de zanja (Suárez, 2012).

En este orden de ideas, se utilizan lloraderos y sistemas filtro en el pie del talud, son tubos de dos a cuatro pulgadas de material PVC, estos atraviesan la pantalla saliendo del talud, y están ubicados en forma de cuadrícula entre clavos y con una misa separación que la de los clavos; también se utilizan subdrenes horizontales profundos para controlar el nivel freático y evitar que se sature el área de suelo inferior donde están los clavos, así, para controlar el escurrimiento superficial en la corona del talud, se construyen drenajes superficiales mediante un canal interceptor (Suárez, 2012).

Para la **conexión pantalla-clavo**, se utiliza en la cabeza de la barra de acero una conexión soldada tipo "T" o se deja sobresalir la barra de acero de la perforación, para hacer un doblado a 90° o gancho de 90° con una determinada longitud de desarrollo embebida vertical hacia abajo en dirección al eje de la pantalla, establecida esta en el diseño estructural.

Para garantizar que el clavo tenga el recubrimiento mínimo especificado en los planos de diseño, se deben usar centralizadores, generalmente, son de PVC y separan el clavo de las paredes de la perforación, sin embargo, no se deben colocar centralizadores si se utiliza una inyección de lechada de cemento más densa por motivo del colado de la misma.

Figura 37. Elementos de un sistema de muros claveteados "Soil Niling"



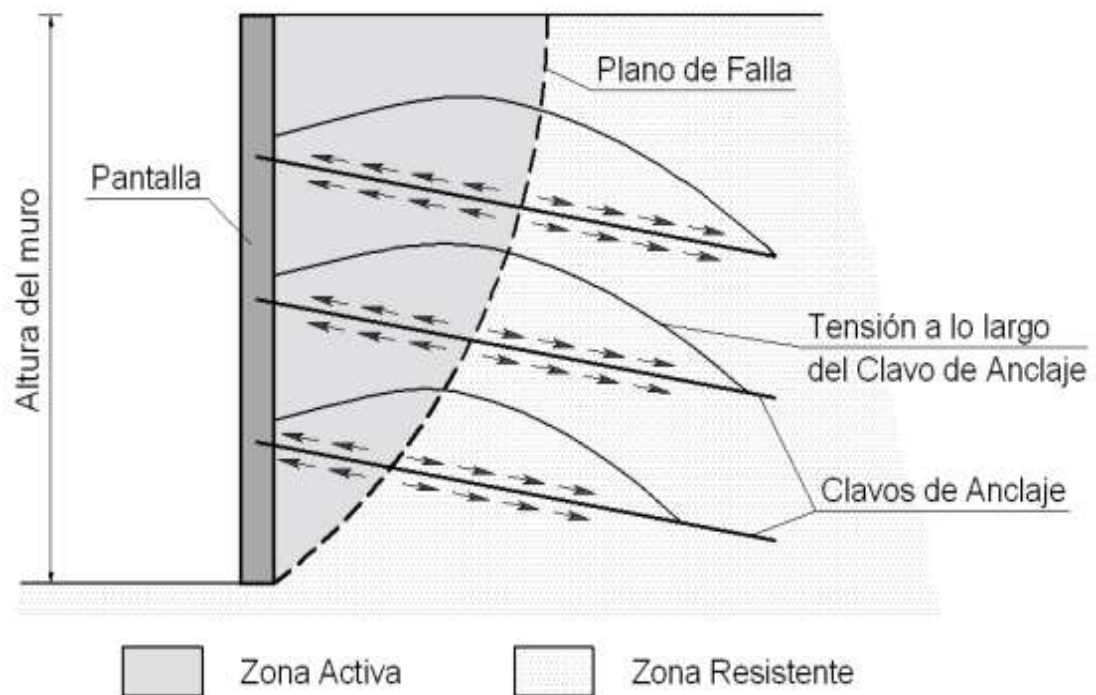
Nota. Tomado de *Análisis experimental de los anclajes en un muro claveteado*, H.F. León y J.G. Miño, 2014, <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8017>

Los muros claveteados o *Soil Nailing*, una vez instalados, actúan como un refuerzo a la tracción del talud, sea para prevenir deslizamientos superficiales mediante la pantalla o placa de hormigón proyectado o deslizamientos en las superficies de fallas internas; el mecanismo se activa cuando el talud empieza a deformarse debido a las fuerzas deslizantes aplicadas en la zona de falla, lo que hace que la pantalla reciba estas cargas de empuje de tierra y las transfiera a los clavos de anclaje, por medio de la conexión clavo-pantalla con un gancho 90 ° o una barra soldada en la cabeza del clavo formando una "T", transfiriendo la carga a los clavos de anclaje, dado que este sistema no posee cimentaciones.

Los clavos de anclaje atraviesan la superficie de falla, esta superficie de falla divide el talud en dos zonas: la zona activa y la zona pasiva, donde la zona activa es la parte del talud o bloque de roca a deslizarse y la zona pasiva es la parte del talud que está por detrás de la falla, sin embargo, el clavo de anclaje actúa uniendo las dos zonas y neutralizando el deslizamiento a través de su resistencia a la tracción que le aporta al terreno; esta resistencia a

tracción empieza a trabajar debido a las cargas axiales, como resultado de la fricción suelo-clavo de anclaje, las cargas axiales por parte de la zona activa son fuerzas de arrancamiento en la barra y la zona pasiva son fuerzas opuestas a las fuerzas de arrancamiento de la barra, lo que resulta en una neutralización del deslizamiento (León y Miño, 2014).

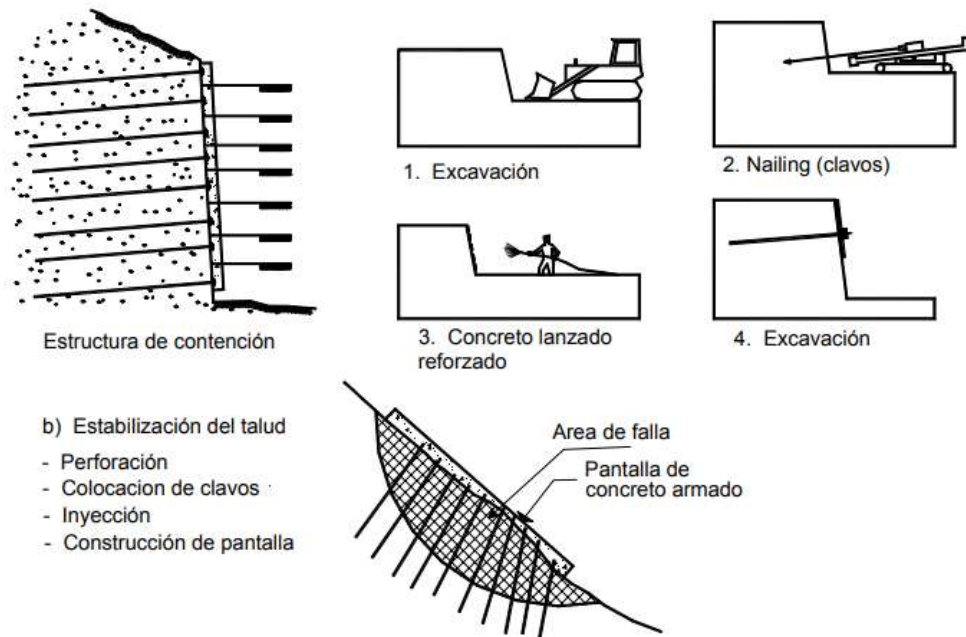
Figura 38. *Distribución de las fuerzas axiales en el clavo de anclaje según la zona activa y pasiva*



Nota. Tomado de *Análisis experimental de los anclajes en un muro claveteado*, H.F. León y J.G. Miño, 2014, <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8017>

El **proceso constructivo** se ejecuta de forma descendente, empezando desde la corona del talud hasta el pie de talud, donde se usa una metodología de excavaciones en cortes escalonados, así, por cada escalón o nivel, se realiza la instalación completa del muro claveteado, esto incluye la instalación del clavo y la pantalla de hormigón proyectado.

Figura 39. Pasos del proceso constructivo de los muros claveteados "Soil Nailing"



Nota. Tomado de *Deslizamientos. Tomo II: técnicas de remediación*, por J. Suárez, 2012, <https://www.erosion.com.co/download/cap-3-estructuras-de-contencion>

La **excavación** deberá realizarse a una profundidad determinada, en la que se garantice que la capa nueva del talud por la excavación no se desmorone o colapse, por lo general, son de 1 o 2 m y el efecto autosoportante tiene duración entre 1 y 2, esto dependerá del grado de cohesión a corto plazo del material del suelo; el ancho de la plataforma o banco de excavación debe ser el adecuado para el fácil acceso a la maquinaria a utilizar (Niño, 2017).

Es importante, antes de la excavación, realizar un control o chequeo del flujo interno, con el objetivo de prevenir que este exceso de agua fluya hacia la cara de la excavación, lo que afectaría, negativamente, al proceso de excavación mediante la inestabilidad que esto generaría al terreno de excavación, por lo tanto, es necesario ejecutar el trabajo de sistemas de drenajes previo a la excavación, como pudieran ser trincheras perimetrales para redireccionar el flujo de agua superficial hacia donde no afecte a la excavación.

La ejecución de la perforación del terreno se realiza de acuerdo con el tipo de perforación, como la perforación por rotación, roto-percusión y auger; el tipo de perforación depende de la maquinaria local disponible y del diseñador, es decir, dependerá del diseñador, pues se basa en las condiciones del sitio, debido a que dichas perforaciones pueden afectar a estructuras enterradas cercanas o edificaciones próximas a la zona de perforación, en tal marco, los diámetros que se usan para este tipo de clavos de anclajes son de 4 y 12 pulgadas, pero es de uso común en la práctica diámetros de 5 a 8 pulgadas (Suárez, 2012).

Instalación de clavos e inyección de lechada de cemento: primero se realiza la colocación del clavo o barra de acero corrugada con sus respectivos centralizadores, luego de ello, se introduce la manguera de inyección de lechada de cemento para rellenar a bajas presiones; la operación de la inyección termina cuando sale lechada de cemento por la boca de la perforación. Para Alvino y Velásquez (2021), si se requiere mayor fuerza de fricción por adherencia en la interfaz suelo-lechada, se puede lograr aumentando la presión de inyección, pero a presiones relativamente bajas y en suelos granulares o rocosos.

Se debe tener en cuenta que la inyección a altas presiones aumenta el diámetro nominal del orificio de la perforación; previo a la fundición de la primera pantalla o placa de hormigón proyectado, se colocan los sistemas de drenajes, no obstante, si se utilizan clavos o barras de acero autoperforantes huecas, la perforación se aplica en una sola operación en simultaneo con la inyección de lechada de cemento.

Una vez instalados los clavos de anclaje, se procede a realizar el primer **revestido temporal** en cada nivel de excavación desde la corona del talud hasta el pie del talud, con el objetivo de darle soporte a cada nivel de excavación; este primer revestimiento temporal se realiza mediante hormigón proyectado, generalmente, con espesores de 10 cm y malla de acero electrosoldada centrada en el espesor del revestimiento, luego, se instalan las placas de apoyo de cada clavo de anclaje, así, dicha placa sobresale de la perforación. Para la conexión pantalla-clavo, se utilizan tuercas hexagonales, gachos 90° o T con soldadura en la cabeza del clavo (Cerde, 2020)

Estos pasos constructivos se repiten en cada nivel de excavación que empieza desde la corona hasta el pie del talud, en consideración con el sistema de drenaje que baja en vertical y descarga en un subdrén tipo zanja en el pie del talud, asimismo, el traslape de las mallas metálicas, traslapando mínimo una célula completa, construye el revestimiento definitivo a través de hormigón proyectado y armadura de acero tradicional según los planos de diseño estructural.

Figura 40. *Estabilización de talud mediante muro claveteado o "Soil Nailing"*



Nota. Tomado de *Sistemas flexibles de estabilización superficial de taludes con mallas de acero y pernos de anclaje*, por V.A. Cabezas, 2013, <http://www.civil.ucsc.cl/investigacion/memorias/2013Victor.Cabezaspdf>

2.7.2 Muros con anclaje postensados

Los muros anclados son un sistema de estabilización de taludes o excavaciones, mediante el que se puede reforzar internamente y superficialmente el talud. Los muros anclados son muros de hormigón armado proyectado, los que pueden ser verticales, con un ángulo de inclinación o se adaptan a la forma del talud; estas pantallas llevan un sistema de anclajes postensados por medio de torones e inyección de lechada de cemento.

Además, en cuanto a los muros anclados tradicionales, existen los muros reticulares postensados compuestos por vigas y columnas, estos se aplican sobre la superficie del talud, de tal manera que se conserva la topografía, evitando realizar trabajos de perfilado de talud o alguno correspondiente a su modificación, este de tipo de muro anclado es de hormigón armado y puede ser fundido en sitio o con elementos prefabricados.

Las **pantallas ancladas** y postensadas actúan inmediatamente después de ser tensadas, así, una vez tensados los anclajes, estos transmiten fuerzas de compresión que aumentan la resistencia al corte y fuerzas que se oponen a las fuerzas deslizantes, donde la pantalla actúa como un muro de contención al bloque de roca o tierra propensas al deslizamiento, además de darle rigidez a los anclajes distribuidos sobre el talud. El proceso constructivo de las pantallas ancladas es similar a la metodología *Soil Nailing*, pero, en lugar de usar barras de acero corrugadas como anclaje, se utilizan torones de acero postensados.

Figura 41. *Fundición de pantalla de hormigón armado proyectado.*



Nota. Tomado de *Muros de Gavión - La solución para las obras hidráulicas*, por EcoGreen Construcciones, 2018, <http://www.tumuro.com/muros-de-gavion.html>

Figura 42. *Pantalla de hormigón armado proyectado*



Nota. Tomado de *Muros de Gavión - La solución para las obras hidráulicas*, por EcoGreen Construcciones, 2018, <http://www.tumuro.com/muros-de-gavion.html>

Figura 43. *Fundición en sitio de muro reticulado*



Nota. Tomado de *Muros de Gavión - La solución para las obras hidráulicas*, por EcoGreen Construcciones, 2018, <http://www.tumuro.com/muros-de-gavion.html>

Figura 44. *Muro reticulado*



Nota. Tomado de *Muros de Gavión - La solución para las obras hidráulicas*, por EcoGreen Construcciones, 2018, <http://www.tumuro.com/muros-de-gavion.html>

CAPÍTULO 3. PROPUESTA

3.1 Dificultades de acceso al cerro San Eduardo

Figura 45. Zona de estudio



Nota. Google Earth.

La zona de estudio está dividida en dos zonas: zona cerro San Eduardo-Túnel (zona 1) y zona cerro San Eduardo-Monumental (zona 2), en las que se asientan comunidades desde los años ochenta aproximadamente, específicamente, dos comunicados: Cooperativa 25 de Julio y Cooperativa Virgen del Cisne.

Las zonas de inestabilidad del cerro San Eduardo se encuentran ubicadas en la parte superior del cerro, como se muestra en la Figura 43, así, las comunidades están ubicadas al nivel medio hacia abajo del cerro, lo que crea la problemática socioambiental.

Figura 46. Comunidad 25 de julio y Virgen del Cisne



Nota. Google Earth.

Figura 47. Comunidades asentadas en zona cerro San Eduardo-Monumental



Nota. Google Earth.

Las limitaciones de accesibilidad a las zonas de estudio son notables por el poco espacio físico que se dispone al pie de talud y las grandes pendientes de los cerros, aproximadamente mayores a 45° , así, el poco espacio físico está ocupado, en su mayoría, por viviendas y vegetación.

Figura 48. Límite topográfico entre las comunidades y el pie de talud de zona cerro San Eduardo-Túnel



Nota. Google Earth.

Figura 49. Limitación de espacio físico para acceso a las zonas de estudio del Cerro San Eduardo



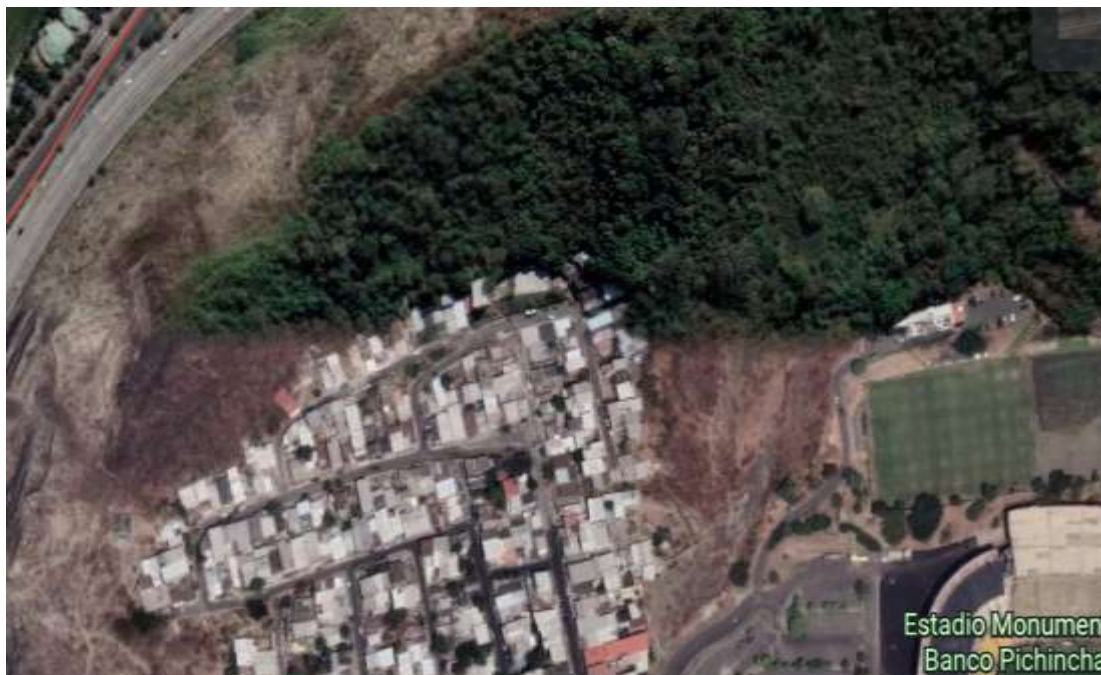
Nota. Google Earth.

Figura 50. *Altas pendientes de los taludes del cerro San Eduardo*



Nota. Google Earth.

Figura 51. *Límite topográfico entre las comunidades y el pie de talud de zona cerro San Eduardo-Túnel*



Nota. Google Earth.

La accesibilidad a las zonas de estudio se encuentra limitada, principalmente, por comunidades y altas pendientes de los taludes del cerro San Eduardo, como se pueden apreciar en las últimas imágenes desde la Figura 46 a la Figura 49. Respecto con la aplicación de métodos para el tratamiento de taludes inestables, sería complejo llevar a cabo métodos convencionales usados en el país, como los muros de gaviones, muros de contención de hormigón ciclópeo o hormigón armado, debido que se necesita maquinaria pesada para sus procesos constructivos en las partes superiores del cerro San Eduardo.

Estos métodos tradicionales, además de la complejidad de su aplicación para las zonas de estudio, representan un aumento potencial de riesgo mortal para las vidas de las personas que conforman las comunidades del cerro San Eduardo, sumado esto con la infraestructura y la topografía del cerro San Eduardo, como consecuencia de un mal diseño, mala ejecución de su proceso constructivo, acción de fuerzas externas y procesos climáticos que afectan a la estabilidad del suelo donde son implantados; estos factores potencian la probabilidad de que pueda fallar el método y colapsar, lo que provoca que este se desprenda del suelo y caiga a gravedad en dirección hacia las comunidades del cerro San Eduardo.

3.2 Propuesta de pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con anclajes postensados

La propuesta de este trabajo investigativo, una pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con anclajes postensados para el tratamiento de taludes inestables, se basa en adaptar métodos de muros anclados para las zonas de estudio del cerro San Eduardo, métodos de muros anclados que han sido utilizados desde los años ochenta y han evolucionado en cuanto a sus investigaciones científicas para su diseño y su proceso constructivo para una mayor eficiencia en el objetivo de su aplicación.

El proceso del método de pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con anclajes postensados para el tratamiento de taludes inestables se realiza de manera convencional, por ello, se propone adaptar dicho proceso, pues se usa convencionalmente para este tipo de obras en las zonas

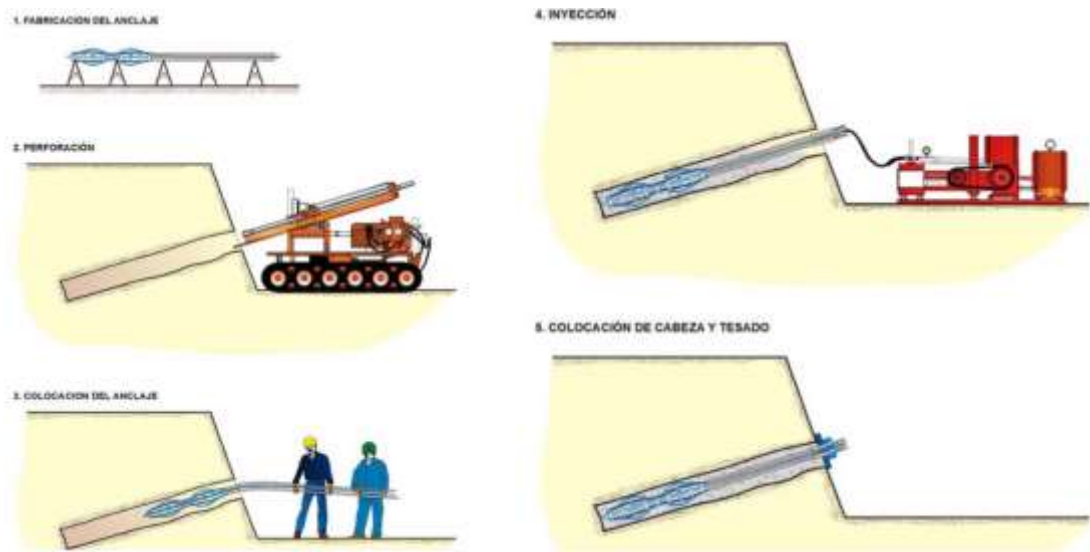
de estudio en el cerro San Eduardo, con el objetivo de prevenir que ocurran deslizamientos que afecten a las comunidades que viven en el cerro, además, este proceso es más viable que otros procesos o métodos, como los muros de contención de gaviones, los muros de contención por gravedad de hormigón ciclópeo y los muros en cantiléver, porque, en un terremoto, estos muros pueden caer encima de las casas, debido a que la parte inestable se ubica en la zona superior del cerro; otros factores que afectan su colapso son la meteorización y las lluvias.

3.3 Metodología ejecutiva

La metodología ejecutiva o metodología de la ejecución de esta propuesta se rige por el siguiente orden de ejecución del proceso constructivo de pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con anclajes postensados para el tratamiento de taludes inestables:

1. Limpieza y desmonte mediante tractores haciendo camino a la corona del talud para instalar la mezcladora.
2. Preparación de los materiales de lechada de cemento.
3. Perforación tipo rotativa tricónica o rotopercutiva, según el tipo de roca definida mediante estudio de suelo.
4. Instalación de los anclajes e inyección de los mismos.
5. Traslado de crucetas de la planta de prefabricados y colocación en la zona de instalación con grúas.
6. Postensado, se corta el excedente de cable y se cola el capuchón.

Figura 52. *Proceso constructivo convencional de instalación de anclajes postensados*



Nota. Tomado de *Anclajes y bulones*, por L. Ortuño et al., s.f., <http://www.urielyasociados.es/img/formacion/ANCLAJES%20Y%20BULONES%20PPT.pdf>

3.3.1 Las perforaciones

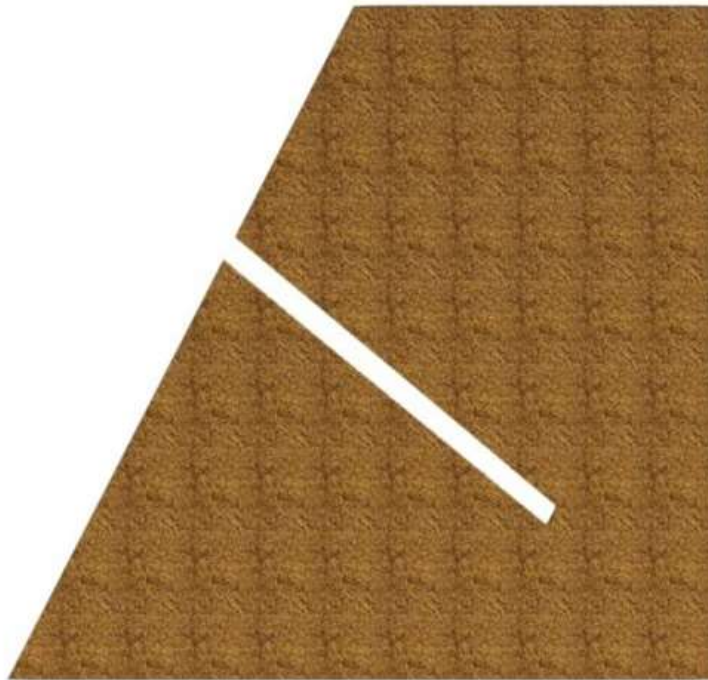
La perforación se realiza según el diseño, el que se basa en el tipo de suelo y maquinaria local disponible y de accesibilidad al área de trabajo; en Ecuador, se dispone de maquinaria tipo a, b, c d, asimismo, en cuanto al tipo de perforación, puede ser tipo rotativa tricónica o rotopercutiva conforme con la dureza de la roca a perforar.

El ángulo de inclinación de la perforación depende de la profundidad a la que se encuentre la superficie de falla, pero, dentro de lo recomendable, no debe ser menor de 10° respecto con la horizontal, pues se deberían implementar tipos de inyección especiales; así, la profundidad de la perforación deberá ser hasta llegar al estrado de roca firme donde se va a anclar el anclaje.

3.3.2 Introducción de pernos e inyección de lechada de cemento

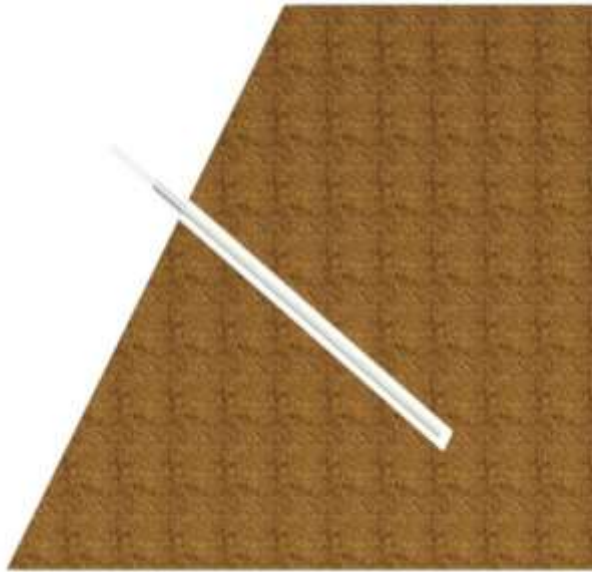
Luego de haber realizado la perforación y la fabricación del dispositivo de anclaje, se realiza la introducción del anclaje e inmediatamente la inyección de lechada de cemento de abajo hacia arriba del anclaje, así, se deja fraguar hasta que gane la máxima resistencia a los 28 días.

Figura 53. *Esquema de perforación del terreno*



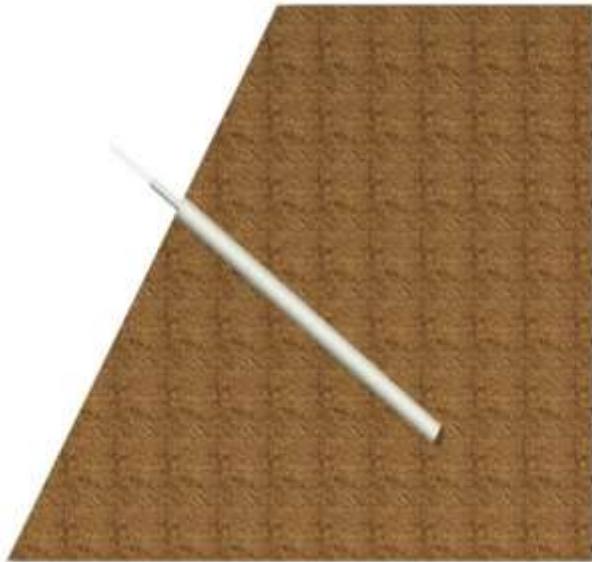
Nota. Como primer paso de el orden del proceso constructivo para su posterior introducción del anclaje.

Figura 54. *Esquema de introducción del anclaje*



Nota. Elaboración propia.

Figura 55. *Inyección de lechada de cemento*



Nota. La inyección de lechada de cemento se la realiza desde abajo hacia arriba. Elaboración propia.

3.3.3 Proceso constructivo de la inyección de la lechada de cemento

El proceso constructivo de la inyección de la lechada empieza por lo siguiente:

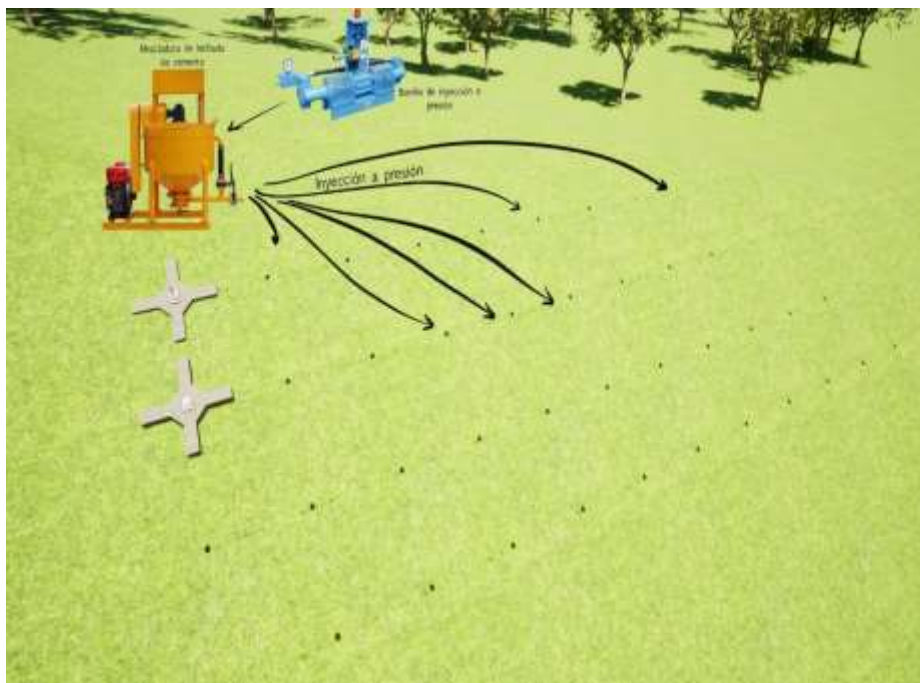
1. La ubicación de la mezcladora de lechada de cemento: se propone ubicarla en la parte superior del cerro, pero cercana a las perforaciones, para luego bajar con las tuberías o líneas de inyección hacia la perforación, de esta manera, se aprovecha la gravedad para el sistema de inyección.
2. La preparación de los materiales incluye: cemento, agua y aditivo mediante la dosificación prevista con los ensayos de laboratorio realizados en el laboratorio de Centro de Investigaciones de Estructuras y Suelos (CEINVES) perteneciente a la UCSG; estos se agregan a la mezcladora de lechada de cemento que funciona mediante un sistema agitador de paletas incorporado, lo que mantiene en constante movimiento para evitar grumos en la mezcla. En consideración con el orden de colocación de los materiales en la mezcladora, primero se coloca el cemento, después el agua y el aditivo; en cuanto al aditivo, este se agrega junto con la última agua de amasado, para garantizar una distribución óptima del producto.
3. Inyección de la lechada de cemento hacia las perforaciones desde arriba hacia abajo, mediante un sistema de bombeo calibrado a una presión determinada en el diseño del proyecto.

Figura 56. Perforaciones realizadas la zona de anclaje



Nota. Elaboración propia.

Figura 57. Ubicación e instalación de mezcladora y bomba de inyección



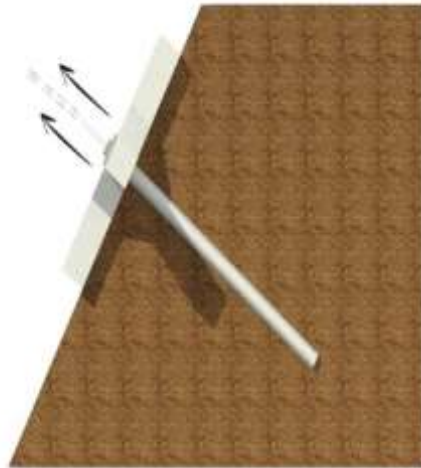
Nota. Luego de las perforaciones se introducen los anclajes y se inyectan con lechada de cemento. Fuente: Elaboración propia.

Figura 58. Colocación de crucetas prefabricadas mediante grúa



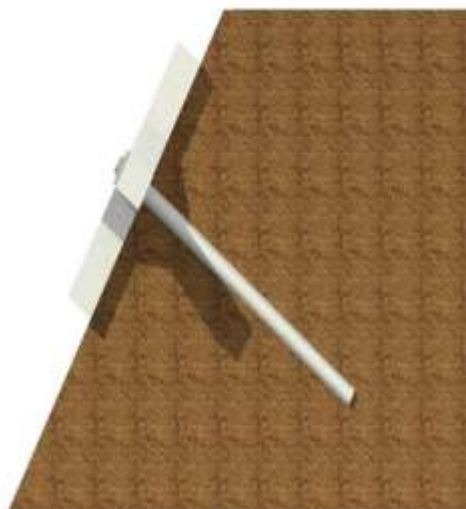
Nota. Los elementos de crucetas prefabricadas son transportados de la bodega o fábrica, para luego ser colocadas una vez que la lechada de cemento haya alcanzado la resistencia requerida a los 28 días. Elaboración propia.

Figura 59. Postensado del sistema de anclaje



Nota. Una vez que la lechada de cemento haya alcanzado la resistencia requerida a los 28 días, se procede a tensar los torones. Fuente: Elaboración propia.

Figura 60. *Instalación completa de una cruceta postensada*



Nota. Luego del postensado se corta el excedente de torón y se coloca el capuchón. Fuente: Elaboración propia.

3.4 Ensayos de laboratorio

Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de CEINVES perteneciente a la UCSG, así, se realizaron ensayos de la compresión de probetas de lechada de cemento elaboradas con una dosificación según los parámetros aplicables al diseño de lechadas de cemento para las inyecciones de los anclajes postensados, de acuerdo con su comportamiento en estado fresco y con la normativa pertinente recomendada, con el fin de adaptar la metodología de dosificación experimental al proceso ejecutivo de inyecciones para anclajes en el talud a ser estabilizado.

3.4.1 Materiales

- Cemento GU tipo 1.
- Agua.
- Aditivo reductor de agua o fluidificante.
- Arena fina pasante del tamiz #60 (0,250 mm).

3.4.2 Diseño de lechada de cemento

El diseño de mezcla experimental de lechada de cemento se define con los parámetros aplicables al diseño de lechadas de cemento que se utilizará en las inyecciones de los anclajes postensados, de acuerdo con su comportamiento en estado fresco y a la normativa pertinente recomendada, con el fin de adaptar la metodología de dosificación experimental, al proceso ejecutivo de inyecciones para anclajes en el talud a ser estabilizado.

El diseño de mezcla experimental de lechada de cemento se realizó para 4 probetas.

Tabla 4. *Diseño de lechada de cemento para 4 probetas ($f'c=225$ kg/cm²)*

Materiales	Peso (gr)
Cemento	852,8
Agua	300
Aditivo	9
Arena fina	137,2
a/c	0,35
a/c +aditivo	0,36

Nota. Elaboración propia

Tabla 5. *Diseño de lechada de cemento para 1 metro cubico en kilogramos (kg) ($f'c=225$ kg/cm²)*

Materiales	m (kg)
Cemento	1340,86
Agua	471,69
Aditivo	14,15
Arena fina	215,72
a/c	0,35
a/c +aditivo	0,36

Nota. Elaboración propia

Figura 61. *Trabajos realizados en laboratorio*



Nota. Elaboración propia.

Figura 62. *Trabajos realizados en laboratorio*



Nota. Elaboración propia.

3.4.3 Roturas de cilindros

Las roturas de cilindros de lechada de cemento se realizaron mediante la máquina de ensayo de resistencia a compresión (equipamiento del laboratorio) calibrada a una velocidad de 100 a 250 Kpa/seg.

Tabla 6. Pesaje y medición de los cilindros de muestra 1

Muestra #1			
# de cilindro	Peso (kg)	diámetro (cm)	altura (cm)
1	0,312	4,44	10
2	0,316	4,45	10
3	0,313	4,5	10
4	0,312	4,51	10

Nota. Elaboración propia

Tabla 7. Pesaje y medición de los cilindros de muestra 2

Muestra #2			
# de cilindro	Peso (kg)	diámetro (cm)	altura (cm)
5	0,312	4,56	10
6	0,321	4,51	10
7	0,304	4,51	10
8	0,31	4,5	10

Nota. Elaboración propia.

Tabla 8. Pesaje y medición de los cilindros de muestra 3

Muestra #3			
# de cilindro	Peso (kg)	diámetro (cm)	altura (cm)
9	0,314	4,66	10
10	0,312	4,51	10
11	0,316	4,51	10
12	0,3	4,5	10

Nota. Elaboración propia.

Tabla 9. Pesaje y medición de los cilindros de muestra 4

Muestra #4			
# de cilindro	Peso (kg)	diámetro (cm)	altura (cm)
13	0,316	4,51	10
14	0,31	4,55	10
15	0,309	4,46	10
16	0,312	4,49	10

Nota. Elaboración propia.

Figura 63. Rotura de probetas de lechada de cemento



Nota. Elaboración propia.

Figura 64. Rotura de probetas de lechada de cemento



Nota. Elaboración propia.

Para los ensayos de compresión simple, se realizaron cuatro muestras de cuatro probetas cada una, de este modo, los ensayos realizados a los siete y 14 días se ensayaron con una probeta respectivamente y dos probetas a los 28 días.

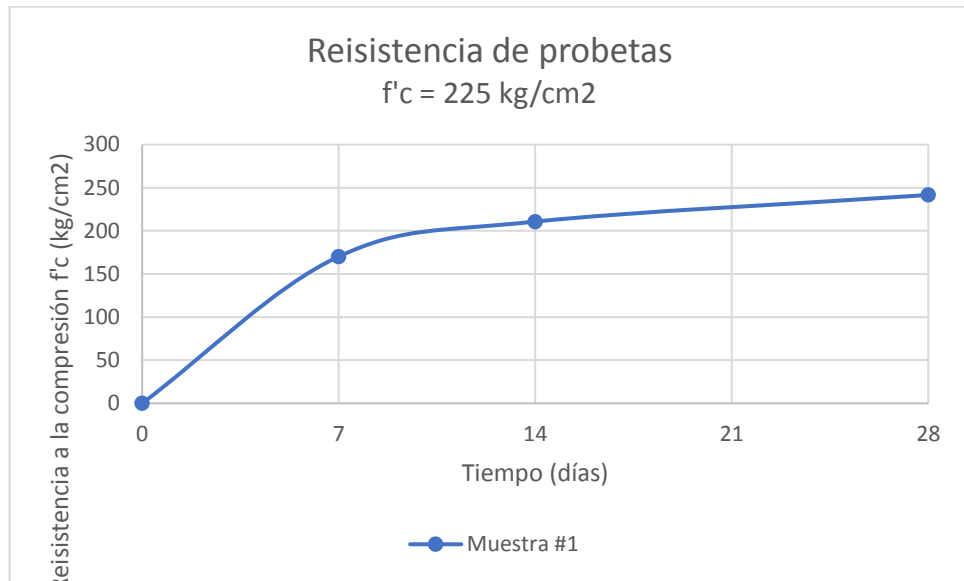
3.4.4 Resultados de ensayos de laboratorio

Tabla 10. Valores de resistencia a compresión f_c de cilindros de muestra 1

Muestra #1	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)		
# de cilindro	Días		
	7	14	28
1	170,7		
2		181,7	
3			241,62

Nota. Elaboración propia.

Figura 65. Curva de evolución de la resistencia a compresión de la muestra 1



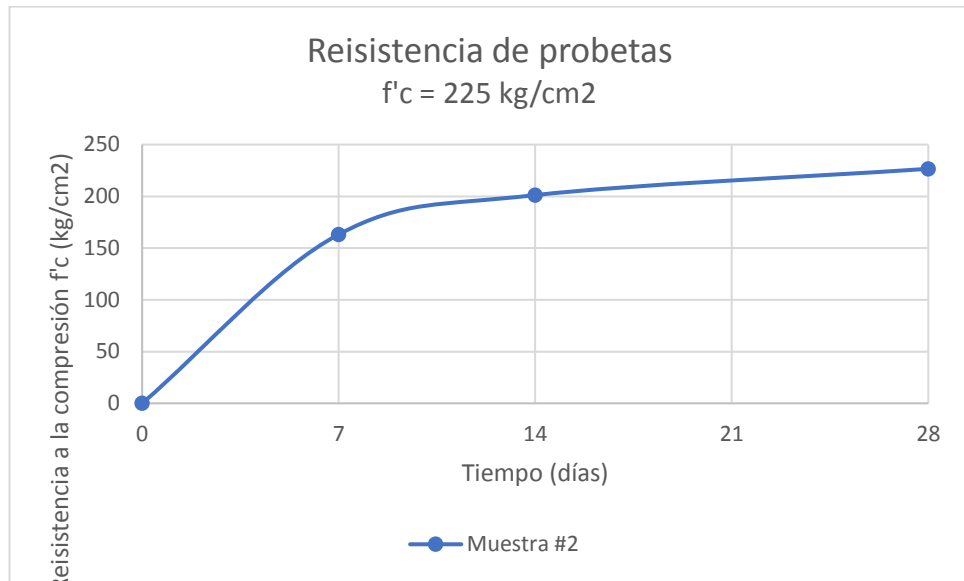
Nota. Elaboración propia.

Tabla 11. Valores de resistencia a compresión f'c de cilindros de muestra 2

Muestra #2	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)		
# de cilindro	Días		
	7	14	28
4	163,2		
5		201,2	
6			226,6

Nota. Elaboración propia.

Figura 66. Curva de evolución de la resistencia a compresión de la muestra 2



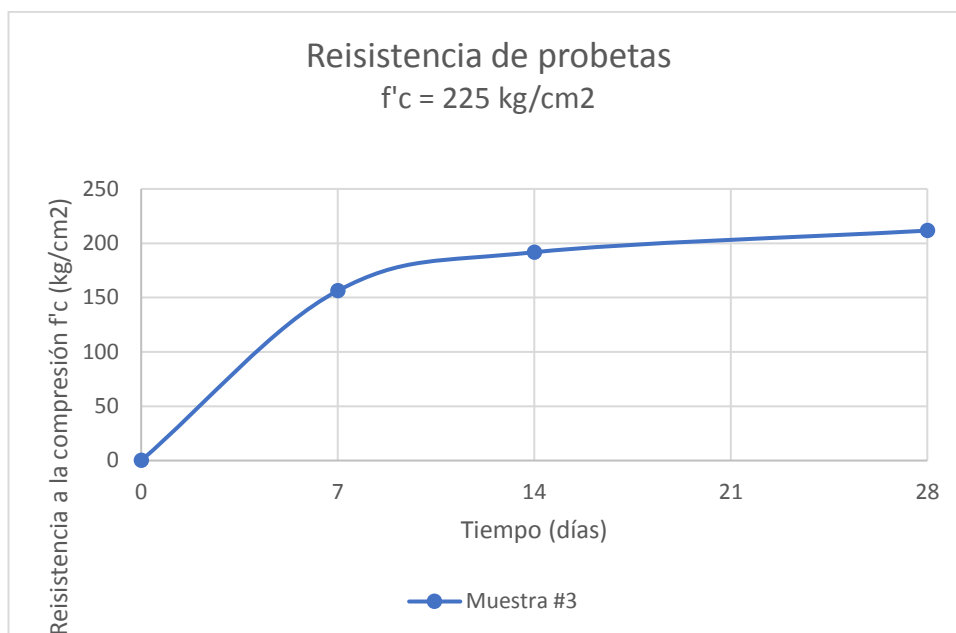
Nota. Elaboración propia.

Tabla 12. Valores de resistencia a compresión f'c de cilindros de muestra 3

Muestra #3	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)		
	Días		
# de cilindro	7	14	28
7	156,2		
8		191,7	
9			211,6

Nota. Elaboración propia.

Figura 67. Curva de evolución de la resistencia a compresión de la muestra 3



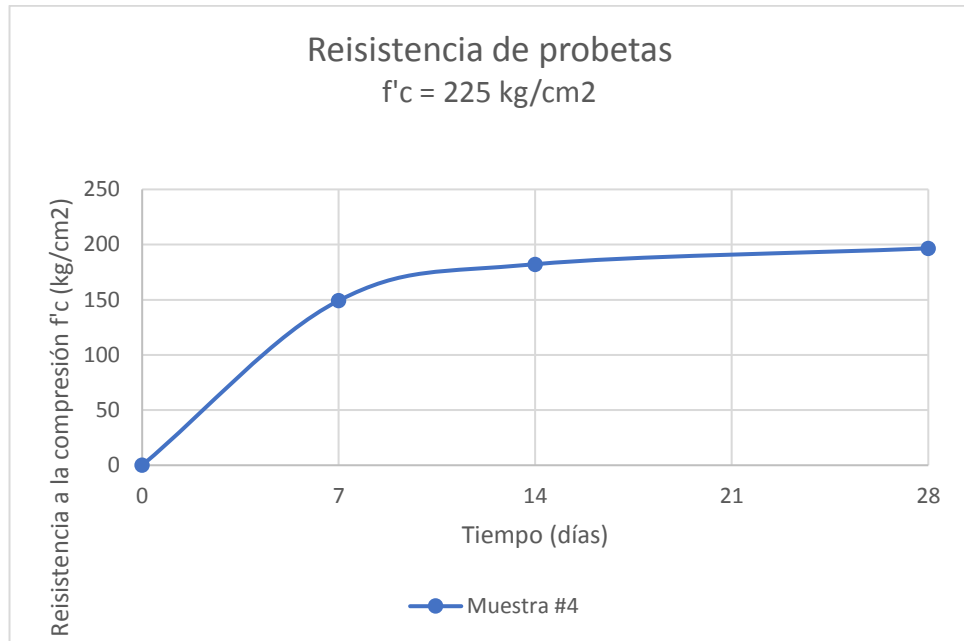
Nota. Elaboración propia.

Tabla 13. Valores de resistencia a compresión f'c de cilindros de muestra 4

Muestra #4	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)		
# de cilindro	Días		
	7	14	28
10	149,2		
11		182,2	
12			196,6

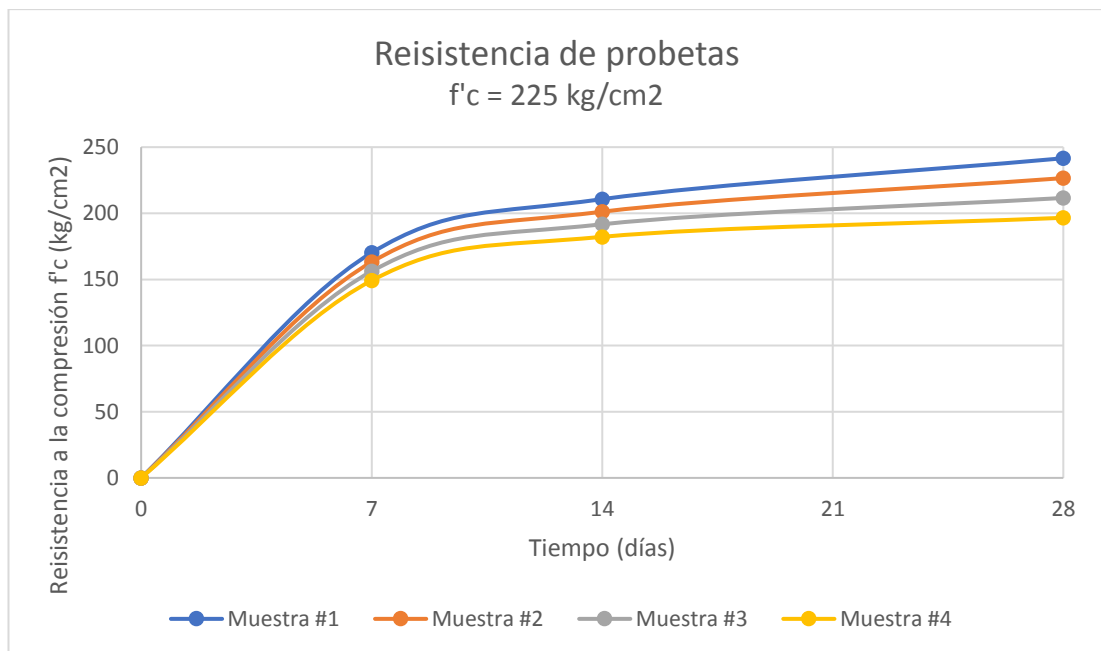
Nota. Elaboración propia

Figura 68. Curva de evolución de la resistencia a compresión de la muestra 4



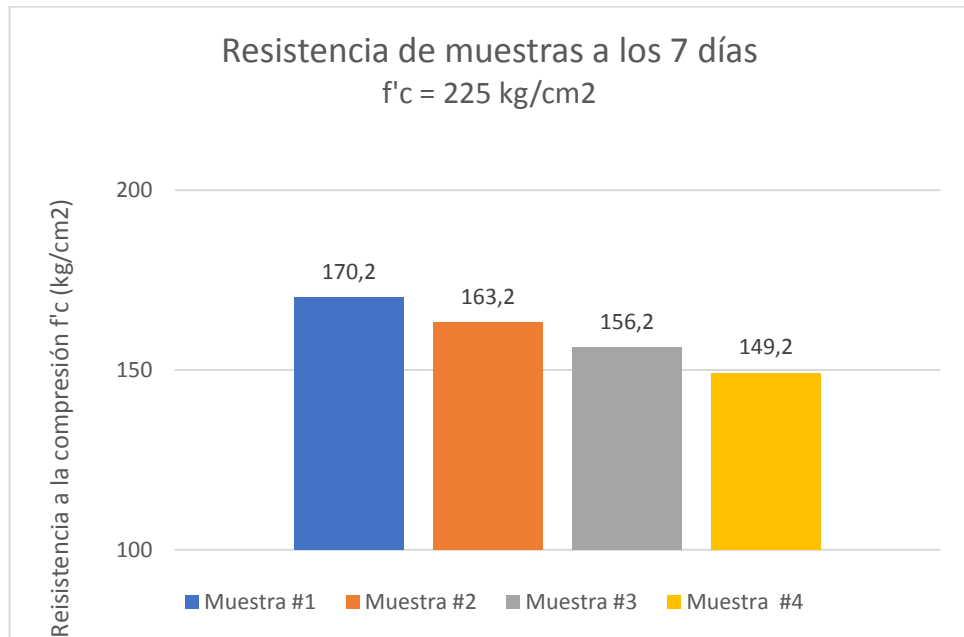
Nota. Elaboración propia.

Figura 69. Comparación de curvas de resistencia a compresión de muestra 1, 2, 3 y 4



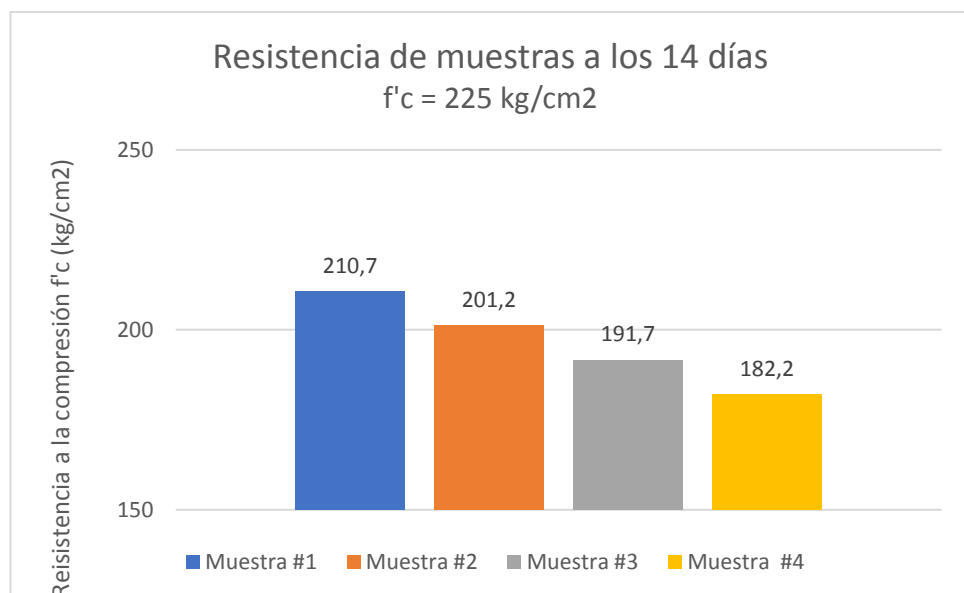
Nota. Elaboración propia.

Figura 70. Comparación de resistencias a compresión de las muestras 1,2,3 y 4 a los 7 días



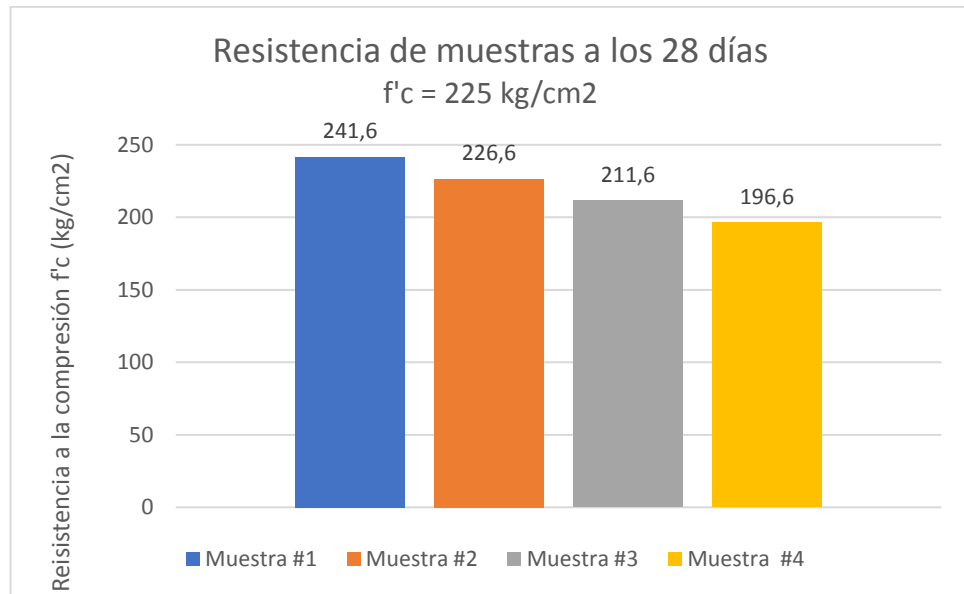
Nota. Elaboración propia.

Figura 71. Comparación de resistencias a compresión de las muestras 1,2,3 y 4 a los 14 días



Nota. Elaboración propia.

Figura 72. Comparación de resistencias a compresión de las muestras 1,2,3 y 4 a los 14 días



Nota. Elaboración propia.

3.5 Crucetas de hormigón armado prefabricadas

Son bases de apoyo individuales de hormigón armado prefabricado, así, según Suárez (2012), el uso de estos elementos individuales tiene como objetivo principal sustituir a los muros de gravedad de hormigón armado o ciclópeo y muros en cantiléver, debido a que no es admisible la aplicación de estos tipos de muro, sea por el nivel de complejidad del proceso constructivo por las limitaciones de espacio físico o por mala calidad de las fundaciones del suelo, pues estos tipos de muro usan cimentaciones o funcionan por peso propio, por lo que requieren parámetros altos de resistencia de las fundaciones del suelo, además, se emplean para conservar la topografía de la superficie del talud.

Estos elementos prefabricados trabajan de forma independiente, así, se instalan en poco tiempo y se aseguran realizando postensados del sistema de anclaje de base de apoyo individual en la superficie del talud.

Figura 73. Esquema de pantalla reticulada de crucetas de hormigón armado prefabricado y postensado (Zona Cerro San Eduardo-Túnel)



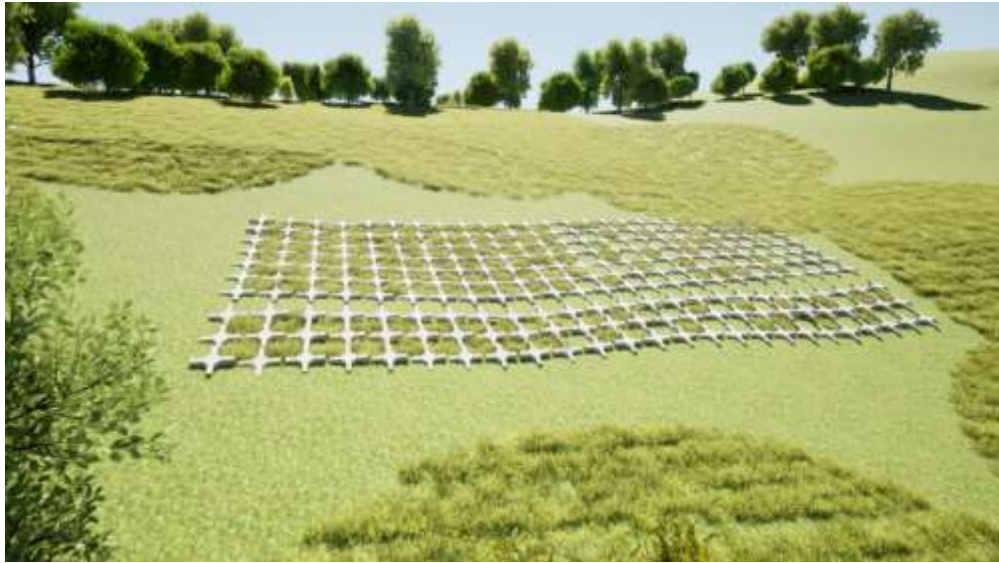
Nota. Vista diagonal del esquema. Fuente: elaboración propia.

Figura 74. Esquema de pantalla reticulada de crucetas de hormigón armado prefabricado y postensado (Zona Cerro San Eduardo-Túnel)



Nota. Vista lateral del esquema. Fuente: elaboración propia.

Figura 75. Esquema de pantalla reticulada de crucetas de hormigón armado prefabricado y postensado (Zona Cerro San Eduardo-Túnel)



Nota. Vista frontal del esquema. Fuente: elaboración propia.

Figura 76. Esquema de pantalla reticulada de crucetas de hormigón armado prefabricado y postensado (Zona Cerro San Eduardo-Túnel)



Nota. Vista en planta del esquema. Fuente: elaboración propia.

Figura 77. Esquema de pantalla reticulada de crucetas de hormigón armado prefabricado y postensado (Zona Cerro San Eduardo-Túnel)



Nota. Vista panorámica del esquema. Fuente: elaboración propia.

Los torones utilizados en el dispositivo de anclaje son del tipo retensables, es decir, se pueden volver a tensar en casos de pérdidas de tensión en los torones; dichas pérdidas de tensión pueden acontecer debido a fuerzas externas por sismos o meteorización de la roca, por lo que es necesario volver a tensarlos para asegurar el talud.

Figura 78. Instalación de una cruceta postensada



Nota. Elaboración propia.

Figura 79. *Instalación de dos crucetas postensadas*



Nota. Elaboración propia.

Figura 80. *Instalación de tres crucetas postensadas*



Nota. Elaboración propia.

Figura 81. Una cruceta instalada al pie del talud en zona expuesta (zona cerro San Eduardo-Monumental)



Nota. Este lugar es una zona crítica y evidente del talud expuesto, por lo que mediante un montaje fotográfico se implanta la alternativa solución pantalla reticulada prefabricada de hormigón postensado. Fuente: Tomado y modificado de *Defensas dinámicas sucesivas para zonas amenazadas por caída de rocas del cerro San Eduardo, Guayaquil*, por drovo, 2022, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/19915>

Figura 82. Dos crucetas instaladas al pie del talud en zona expuesta (zona cerro San Eduardo-Monumental)



Nota. Tomado y modificado de *Defensas dinámicas sucesivas para zonas amenazadas por caída de rocas del cerro San Eduardo, Guayaquil*, por drovo, 2022, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/19915>

Figura 83. *Tres crucetas instaladas al pie del talud en zona expuesta (zona cerro San Eduardo-Monumental)*



Nota. Tomado y modificado de *Defensas dinámicas sucesivas para zonas amenazadas por caída de rocas del cerro San Eduardo, Guayaquil, por drovo, 2022, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/19915>*

Figura 84. *Cuatro crucetas instaladas al pie del talud en zona expuesta (zona cerro San Eduardo-Monumental)*



Nota. Modificado de Google Earth.

Figura 85. Cuatro crucetas instaladas al pie del talud en zona expuesta (zona cerro San Eduardo-Monumental)



Nota. Modificado de Google Earth.

Figura 86. Una cruceta instalada al pie del talud en zona expuesta (zona cerro San Eduardo-Monumental)



Nota. Tomado y modificado de *Defensas dinámicas sucesivas para zonas amenazadas por caída de rocas del cerro San Eduardo, Guayaquil*, por drovo, 2022, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/19915>

Figura 87. Una cruceta instalada al pie del talud en zona expuesta (zona cerro San Eduardo-Monumental)



Nota. Tomado y modificado de *Defensas dinámicas sucesivas para zonas amenazadas por caída de rocas del cerro San Eduardo, Guayaquil*, por drovo, 2022, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/19915>

3.6 Sistemas de protección superficial de taludes

3.6.1 Hidrosiembra

La hidrosiembra es un técnica de regeneración de la cubierta vegetal, así, para Ayala (s.f), es una técnica que combina todos los tipos de metodologías que se usan para la revegetalización del suelo, como los mulch, estabilizadores, los abonos, las semillas, entre otros; la hidrosiembra los ejecuta de manera simultánea, usando el agua como un distribuidor de los mismos, por lo que existen diversos métodos de hidrosiembra, pero la mayoría tienen de uso común los estabilizadores y abonos, no obstante, el uso del mulch varía significativamente de conformidad con las características de la zona natural, las condiciones de los suelos y el sitio de obra.

La técnica de la hidrosiembra funciona mediante equipos de bombos que, a través de tuberías o mangueras a presión, proyectan una mezcla acuosa de semillas, mulch, fertilizantes y sustancias adherentes sobre el talud; esta es usada por sus óptimos resultados, debido a una siembra fácil y

rápida, pues garantiza una mejor germinación y mayor efectividad en la revegetación del talud, por otra parte, una de sus ventajas principales es que se logra aplicar hidrosembado a taludes de gran altura y limitada accesibilidad a la zona de trabajo.

La vegetación que se utilice para el hidrosembado deberá ser una vegetación específica y adecuada para el lugar de aplicación, para que pueda desarrollarse de manera natural y óptima sobre el talud que se va a revegetalizar, con el objetivo de que una vez que las plantas del lugar estén enraizadas al terreno del talud, estas sirvan para prevenir la erosión superficial como consecuencia de las lluvias y el viento, además de reforzar superficialmente el talud; este se vuelve más impermeable previniendo infiltraciones de cuerpos de agua al interior del talud que pudieran afectar su estabilidad (Tecnocarreteras, 2013).

Figura 88. *Hidro sembrado proyectado a presión*



Nota. Tomado de *Tecnología de hidrosiembra para asegurar la estabilidad de los taludes de carreteras*, por Tecnocarreteras, 2013, <https://www.tecnocarreteras.es/2013/10/03/tecnologia-de-hidrosiembra-para-asegurar-la-estabilidad-de-los-taludes-de-carreteras/>

3.6.2 Cobertura vegetal

La cobertura vegetal es la capa o manto vegetal que cubre la superficie terrestre o la superficie de una ladera; para Maza (2009), dicha capa o manto vegetal comprende un gran espectro de biomasas de diferentes características fisonómicas y ambientales que pueden ser desde pastizales hasta zonas cubiertas de bosques naturales, sin embargo, existen varios tipos de vegetación en función del grado de parámetros físicos, biológicos y edáficos. El efecto de la vegetación sobre el talud o ladera se mide mediante los siguientes factores: volumen y densidad de follaje, tamaño, ángulo de inclinación y aspereza de las hojas, altura total de la capa o manto vegetal, diferentes capas de cobertura vegetal para un mismo manto vegetal, resistencia de sistema de raíces, además, la cobertura vegetal tiene como objetivo principal controlar los niveles de contenido de agua de la superficie del talud, por ello, aporta mayor consistencia superficial debido a la fijación de sus sistemas de raíces o enraizado sobre el terreno (Suárez, 2012).

La selección del tipo de coberturas vegetales que se vayan a implementar con el fin de prevenir las erosiones superficiales, para Escobar y Duque (2017), son de excelentes resultados, lo que brinda un buen desempeño en cuanto al tipo de manto vegetal esperado, la capacidad flexible y resistente a condiciones adversas, la especie de cobertura vegetal local disponible, entre otras; estos son factores importantes a tener en cuenta al momento de escoger el tipo de vegetación para el control por erosión superficial.

Figura 89. *Protección superficial del talud mediante cobertura vegetal*



Nota. Elaboración propia.

3.6.3 Geotextil

Los geotextiles son similares a textiles telas, las que tienen las características de enrollar, coser, cortar, entre otros; están compuestas por fibras en formas continuas, cortadas o con forma de cintas de polímeros (Gamarra, 2014). Según Murillo (2012), son cintas de polímeros conformadas por: polipropileno, poliéster, poliamida o nilón, PVC o polietilenos (PE), además, existen dos tipos de geotextil: geotextil tejido y no tejido.

El geotextil no tejido se elabora con un método de punzonado por agujas, este tiene como función dar paso al flujo de agua y, a manera de filtro, retiene las partículas del material fino, las que tienen propiedades resistentes a la degradación biológica y química en los suelos, asimismo, son resistentes a la radiación solar, sin embargo, los geotextiles tejidos son fabricados mediante una red de tejido, tienen propiedades resistentes a la degradación biológica y a sustancias químicas naturales en el suelo, como el álcalis y ácidos; deberán ser resistentes a la radiación solar y tienen como función dar paso al flujo de agua y la separación de suelos con diferente granulometría (Ruesta, 2017). Los geotextiles aportan a la estabilización por medio de su contenido de fibras sintéticas que tienen como función, según Gamarra (2014), generar al sistema del geotextil una resistencia mecánica a la perforación, la tracción y la capacidad drenante; este método es aplicado a

obras ingenieriles, entre ellas, construcciones de sub-bases de carreteras, para evitar erosión en laderas, terraplenes o canales, en complemento con muros de contención (Gamarra, 2014).

Los geotextiles actúan como refuerzo a tracción del suelo, reduciendo las fuerzas de volcamiento en muros, por ejemplo, debido a que el geotextil se coloca por capas intercaladas hacia el interior del muro, absorbe esfuerzos de empuje, lo que evita vuelcos del talud o la ladera, por ello, se coloca de manera superficial del talud, por otra parte, el geotextil ayuda al drenaje planar, en el plano del geotextil, evitando la acción de depresión de poros en el talud.

Los geotextiles se instalan de manera rápida y sencilla, estos se colocan sobre una superficie compacta preparada mediante limpieza del terreno (raíces, piedras grandes, escombros, etc) y rellenando huecos o irregularidades de la superficie del terreno, lo que asegura una correcta instalación del geotextil; en la colocación, esto se realiza por medio de grapas en todo el perímetro y en el centro del manto geotextil, dicha grapas son de varilla 3/8 o pueden ser de alambón, luego de ello, se coloca un material de relleno y se compacta, así, si se realizan traslapes de los geotextiles, se traslapan en dirección de la colocación del relleno, asimismo, en su aplicación se usa traslapes de 300 mm en sentido longitudinal y 600 mm en sentido transversal (ML Ingeniería, s.f).

3.6.4 Plantas nativas y endémicas

Las plantas nativas y endémicas implican conceptos diferentes basados en la longevidad, la supervivencia y el desarrollo biológico de la planta en el hábitat en el que se encuentre, así, las plantas nativas son plantas que afloran o nacen en distintas partes del mundo, a nivel litoral; este tipo de plantas requieren de un cuidado en caso o fines de uso para paisajismo, jardinería, entre otros, y pueden aflorar en diferentes regiones y mantenerse durante su ciclo de vida, sin embargo, las plantas endémicas solo afloran y se desarrollan en una zona o lugar en específico, y no requieren ningún tipo de cuidado porque están adaptadas a las condiciones del lugar durante su ciclo de vida.

Las condiciones del lugar de hábitat de las plantas endémicas le aportan suministros para mantenerse en buen estado, entre ellos, factores climáticos (toman agua de la atmósfera), composición de los minerales del suelo, entre otras. En Ecuador existe una gran variedad de especies de plantas; según Velasteguí (2018), Ecuador tiene el 10 % de todas las especies de plantas en el mundo, gran parte de este porcentaje crece en la Cordillera de los Andes y la zona noroccidental. Existe una gran diversidad de especies de plantas en la ciudad de Guayaquil, las que afloran en diferentes zonas de la ciudad; de acuerdo con M. I. Municipalidad de Guayaquil (2020), algunas de estas especies de plantas en la ciudad son las siguientes:

Manglar: existen diferentes tipos de manglares, estos afloran en el golfo de Guayaquil y en otras provincias costaneras donde domina en su extensión en este ecosistema; por medio de sus raíces regulan el flujo de las mareas y la interacción entre los ecosistemas de agua dulce y agua marina, además, generan refugio y alimento a aves, moluscos, peces y la vida marina.

Muyuyu: son árboles de rápido crecimiento (5 a 6 m de altura), tienen su aportación a la recuperación del suelo de bosques secundarios.

Muyuyu de montaña: son arbustos de 2 a 4 m de altura, crecen en suelos rocosos calcáreos y son resistentes a épocas de sequías; son endémicos de bosques secos del Ecuador, además, aportan significativamente a la recuperación del suelo degradado, pues crecen en suelos rocosos calcáreos, además, es una especie idónea para ser utilizada en el arbolado urbano.

Roble: arbustos de altura de 20 m, son de crecimiento rápido, tienen mayor desempeño en zonas con vegetación secundaria, donde actúan conservando mejor el suelo y ayudan al control de la erosión, por lo tanto, son sembrados, generalmente, en áreas verdes urbanas.

3.7 Paisajismo del cerro San Eduardo

El cerro San Eduardo es de relieves topográficos con picos de gran altura y depresiones drásticas, donde se asientan las comunidades que habitan en el cerro, así, el cerro se encuentra encerrado por avenidas

importantes de la ciudad y es interceptado por el túnel cerro San Eduardo; este tipo de topografía y la influencia de la infraestructura de la ciudad crea un efecto invisible de las comunidades próximas al túnel, debido a que, para visualizar estas comunidades, es preciso adentrarse tomando la avenida que lleva al túnel, esto afecta la visibilidad y la presencia de estas comunidades de la ciudad.

Las condiciones de la ubicación de las comunidades podrían afectar la estabilidad emocional de las personas que viven en el cerro San Eduardo, por lo que se debería considerar construir más áreas de recreación, áreas verdes con siembra de plantas nativas de Guayaquil y parques; este tipo de obras contribuirían con el paisajismo y el impacto visual del cerro San Eduardo. Las crucetas, por ser fabricadas, pueden elaborarse con hormigón pigmentado de verde, lo que contribuirá con el paisajismo y el impacto visual.

Figura 90. *Crucetas color vegetación*



Nota. Elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUCIONES

La pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con anclajes postensados es una alternativa solución viable y sustentable a diferencia de los muros convencionales y muros anclados.

Entre las opciones estudiadas se encuentran los muros reticulares prefabricados de hormigón instalados con sistemas postensados e inyección de lechadas de alta resistencia, el cual, a diferencia del uso de la pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con anclajes postensados, se debe considerar que:

- Es más costoso, debido a mayores metros cúbicos de hormigón y kilogramos de acero, para sus elementos vigas y columnas.
- Representa mayor complejidad del proceso constructivo, con respecto a la maquinaria pesada para excavaciones, deforestaciones, encofrados extensos y entre otros.
- Requiere mayor tiempo de ejecución del proceso constructivo.
- Se necesita deforestación en el caso de que exista vegetación en el talud.

Estas son algunas desventajas importantes, en las que se puede diferenciar el grado de dificultad del proceso constructivo y economía de ambos métodos.

Además, con respecto a los materiales que se utilizaron para el diseño experimental de lechada de cemento, se utilizó cemento corriente GU 1, sin embargo, para la practica y uso profesional se debería usar cemento portland tipo II.

La lechada de cemento a utilizar según el diseño para 1 metro cúbico, es menor que 1 metro cúbico, en cuanto a la inyección de las perforaciones, debido a que en el cerro san Eduardo se encuentra roca meteorizada y las perforaciones se estiman a no mas de 5 metros de profundidad por lo que la cantidad de mezcla total para un metro cubico es muy exagerado comparado con los que se va a utilizar, por lo que resulta económico el método de inyección.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se realizó una revisión global sobre los diversos tipos de muros aplicables en el cerro San Eduardo, en consideración con que la zona inestable está en la parte superior, con amenaza latente de caída de rocas sobre el barrio San Eduardo. Por otro lado, se estudiaron alternativas livianas que no utilizan cimentación ni requieren de excavaciones que puedan contribuir con la inestabilidad de las laderas.
- Entre las opciones estudiadas se encuentran los muros reticulares prefabricados de hormigón instalados con sistemas postensados e inyección de lechadas de alta resistencia. Esto fue desarrollado en los laboratorios de la UCSG, con un diseño de lechada de cemento para inyecciones en anclajes postensados, lo que permita procesos de inyección ascendentes lentos, debido a las dificultades de acceso a los sitios donde se ubicarán los elementos de hormigón prefabricado. La lechada utiliza aditivos retardadores de fraguado y superfluidificante; esta dosificación se adapta a las dificultades de ejecución de las inyecciones.
- En síntesis, se propone, a nivel esquemático, un innovador sistema de estabilización de taludes, utilizando una pantalla reticulada prefabricada de hormigón. Cada elemento prefabricado tiene el formato de una cruceta de hormigón diseñada para estabilizar taludes rocosos, los que permiten el drenaje de agua lluvia y pueden vegetalizarse para mejorar el paisajismo. Cada cruceta será instalada con un anclaje postensado, cuyo perno será inyectado con lechada de cemento para protección; esta alternativa propuesta va a reducir la vulnerabilidad socioambiental por los taludes susceptibles a deslizamientos en la zona urbana y vial del cerro San Eduardo de Guayaquil.

REFERENCIAS

- ABC-Geotechnical Consulting. (s.f.). *Muros de contención de hormigón o concreto ciclópeo*. <https://www.mecanicasuelosabcchile.com/muro-hormigon/>
- Alvino, D. M., & Velásquez, C. R. (2021). *Análisis comparativo de método soil nailing con mejoramiento de drenaje frente a un corte convencional en suelo aluvial en el departamento de Puno, Perú*. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4724>
- American Society for Testing and Materials [ASTM]. (2001). *Standard specification for chemical admixtures for concrete. (C 494/C 494M-99a)*. ASTM.
- Aracel, L., & García, G. (2011). *Estudios para el control erosión que circundan en la zona urbana de la ciudad de jipijapa*. <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/278/1/UNESUM-ECU-CIVIL-2011-10.pdf>
- Argudo, J., Bravo, F., & Yela, R. (1993). *Metodología para la reducción de la vulnerabilidad sísmica de escuelas y bibliotecas en Guayaquil. - La Educación - (115) II - 1993*. http://www.educoas.org/portal/bdigital/contenido/laeduca/laeduca_115/investigacion2/index.aspx?culture=es&navid=201
- Arquitectura Pura. (s.f.). *Tipos de muro de contención, usos y materiales*. <https://www.arquitecturapura.com/construccion/muro-de-contencion-8495/>
- Asociación Nacional de Fabricantes de Aditivos para Hormigón [ANFAH]. (2018). *Aditivos: definición y clasificación*. <https://www.concretonline.com/aditivos-adiciones/aditivos-definicion-y-clasificacion>
- Ayala, F. J. (s.f.). *Manual de ingeniería geológica*. http://info.igme.es/SidPDF/067000/080/67080_0001.pdf
- Ayala, F. J., & Andreu, F. J. (1987). *Manual de taludes*. http://info.igme.es/SidPDF/065000/075/65075_0001.pdf

- Benítez, S. B. (1995). *Évolution géodynamique de la province côtière sud-équatorienne au Crétacé supérieur-Tertiaire*. http://geologie-alpine.ujf-grenoble.fr/articles/GA_1995__71__3_0.pdf
- Cabezas, V. A. (2013). *Sistemas flexibles de estabilización superficial de taludes con mallas de acero y pernos de anclaje*. <http://www.civil.ucsc.cl/investigacion/memorias/2013Victor.Cabezaspdf>
- Castro, H. A. (2019). *Comentarios y recomendaciones a la práctica mexicana de construcción de anclas en suelos*. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/16349>
- Cerda, S. E. (2020). *Implicancias del diseño y la secuencia constructiva en el comportamiento de muros soil nailing como sistema de contención de excavaciones*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/178386>
- Chacón, D. A. (2018). *Geología del cuaternario de la ciudad de Portoviejo y su zona de influencia (escala 1:20000)*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15499/1/T-UCE-0012-FIG-005.pdf>
- Chunga, K. (2016). *Geología de terremotos y tsunami*. https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Garces-3/publication/309478442_Geologia_de_Terremotos_y_Tsunami_ECUADOR/links/58d3d041458515e6d90311ee/Geologia-de-Terremotos-y-Tsunami-Ecuador.pdf
- Chunga, K., & Quiñónez, M. F. (2013). *Evidencia sedimentaria de tsunamis en la planicie aluvial de villamil playas, golfo de Guayaquil*. https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas_oceanograficas/acta18/OCE1801_15.pdf
- Chunga, K., Coronel, J., Herbozo, J., Salinas, I., & Cahuana, N. (2020). *Estudios Geológicos para el Proyecto “Estudios y diseños para la estabilidad de talud del cerro San Eduardo - Av 47 SO, Av. Dr. Modesto Apolo Ramírez, desde: (abscisa 0+000) Av. Barcelona Sporting Club hasta: (abscisa 0+340) Parroquia Tarqui.”* 37.

researchgate.net/profile/Kervin-Chunga/publication/359045314_Estudio_Geologico_y_Geomecanico_para_la_estabilidad_de_talud_del_cerro_San_Eduardo_Guayaquil/links/622444da9f7b324634125419/Estudio-Geologico-y-Geomecanico-para-la-estabilidad-de-talud-del-cerro

Chunga, K., Michetti, A. M., Gorshkov, A. I., Panza, G. F., Soloviev, A., & Martillo, C. (2010). Aplicación del método de zonación morfoestructural para identificar nudos sismogénicos en la región costera y cadenas montañosas de los andes septentrionales . *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 16(1), <http://hdl.handle.net/1834/4209>.

Córdova, M. A. (2014). *Estudio de mezclas de inyección incorporando al cemento materiales como cangahua, bentonita, crudo de caliza-arcilla o aditivos para estabilización y mejoramiento de los suelos*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8193/1/CD-5718.pdf>

Dehormigón. (s.f.). *Hormigón ciclopeo*. <https://dehormigon.com.ar/hormigon-ciclopeo/>

Díaz, J. C. (2013). *Caracterización geológica y geofísica de la zona oeste de la concesión minera mompiche, ubicada en la provincia de esmeraldas, cantón muisne, recinto mompiche*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6919/1/CD-5186.pdf>

Dirección general de carreteras & Asociación de empresas de la tecnología del suelo y subsuelo [AETESS]. (2001). *Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera*. https://www.mitma.es/recursos_mfom/0710300.pdf

EcoGreen Construcciones. (2018). *Muros de Gavión - La solución para las obras hidráulicas*. <http://www.tumuro.com/muros-de-gavion.html>

El Comercio. (2022). *Deslizamiento de tierra causó alarma en ciudadela en Guayaquil*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/Guayaquil/deslizamiento-tierra-piedras-alarma-ciudadela.html>

- El Universo. (2020). *Caída constante de piedras causa inconvenientes en ruta a túneles San Eduardo, en Guayaquil | Comunidad | Guayaquil |*. <https://www.eluniverso.com/Guayaquil/2020/08/26/nota/7954990/caida-constante-piedras-causa-inconvenientes>
- Escobar, C. E., & Duque, G. (2017). *Geotecnia para el trópico andino*. <http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/>
- Étienne, J., Martha, O., Stalin, B., Gerardo, B., Nelson, J., Galo, M., & Italo, Z. (1995). *Basin development in an accretionary, oceanic-floored fore-arc setting: Southern coastal Ecuador during Late Cretaceous-Late Eocene time*. <https://www.researchgate.net/publication/32973495>
- Gamarra, N. (2014). *Estabilización de suelos con geotextiles*. <https://es.slideshare.net/Nicgam/geotextiles-2014>
- González, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación.
- Herrera, G., & Lario, J. (2017). *Introducción a los riesgos geológicos*. <https://www21.ucsg.edu.ec:2653/es/ereader/ucsg/48895>
- Idrovo, G. A. (2022). *Defensas dinámicas sucesivas para zonas amenazadas por caída de rocas del cerro San Eduardo, Guayaquil*. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/19915>
- INOCAR. (s.f.). *Home*. Obtenido de <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2009a). *Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista. (NTE INEN 488:2009)*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/488.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2009b). *Cemento hidráulico. Mezclado mecánico de pastas y morteros de consistencia plástica. (NTE INEN 155:2009)*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/155.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2012). *Cemento portland. Requisitos. (NTE INEN 152:2012)*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/152-5.pdf>

- Lahmeyer International, Conyfis, & Consulsismica. (2005). *Resumen Ejecutivo - Diseño de los Túneles de San Eduardo, Guayaquil, Ecuador.* .
<http://www.ventilacion>
- León, H. F., & Miño, J. G. (2014). *Análisis experimental de los anclajes en un muro claveteado.* <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8017>
- López, J. M. (2002). *Geología Aplicada a la Ingeniería Civil.*
https://www.academia.edu/42066638/Geologia_aplicada_a_la_ingenieria_Civil_Juan_Manuel_Lopez_Marinas
- M.I Municipalidad de Guayaquil. (2020). *Memoria de la biodiversidad el cantón Guayaquil.* <https://Guayaquil.gob.ec/direccion-de-medio-ambiente>
- Mata, M., & Macias, A. (2021). *Análisis petrográfico de los cerros de bellavista y San Eduardo, Guayaquil, Ecuador.* Escuela Superior Politécnica del Litoral: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52338>
- Maza, C. V. (2009). *Clasificación y análisis de la cobertura vegetal sobre la Subcuenca Zamora Huayco-Cantón Loja.* .
https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/2218/3/UTPL_Maza_Chamba_Cristian_Vicente_1009103.pdf
- Mazuelos, V. M., & Mercado, R. A. (2020). *Propuesta de diseño para la preparación de lechada cementicia en sistemas de anclajes de muros pantalla con suelos gravosos.*
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/648821>
- Michaud, F., Wittl, C., Bustillos, J., & Peñafiel, L. (2006). *Influencia de la subducción de la cordillera de carnegie sobre la geología del ecuador: ¿realidad y ficción?* https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers19-12/010041564.pdf
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). *Peligro sísmico: diseño sismo resistente.* https://www.ecp.ec/wp-content/uploads/2017/09/NEC_SE_DS_peligro-sismico.pdf
- ML Ingeniería. (s.f.). *Procedimiento de instalación de geotextiles filtro y separación de estratos.* <https://mlingenieria.com/wp-content/uploads/2016/01/geotextil-procedimientos.pdf>

- Monroy, R. (2007). *Anclajes en suelos*.
<http://132.248.9.195/pd2007/0614352/0614352.pdf>
- Mora, E. (2020). *Crecimiento progresivo de las viviendas en los asentamientos informales de Guayaquil. Estudio de caso – Isla Trinitara*.
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/15663/1/T-UCSG-POS-MARQ-1.pdf>
- Muñoz, A. J. (2011). *Manual para el proceso de diseño y construcción de muros anclados de concreto lanzado*.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4392/1/CD-4006.pdf>
- Murillo, R. (2012). *Geosintéticos, solución o problema*.
https://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/1_Reunion_Cancun/2_XXVI_Reunion_Nacional/19_Normatividad_y_practica_profesional/I18_MUFR_1.pdf
- Niño, C. G. (2017). *Métodos de análisis y diseño para la resolución de problemas de estabilidad de taludes y excavaciones mediante técnicas de soil nailing*.
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/591/Niño-Martinez-Carlos-German-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Núñez, E. (2003). *Geología Del Ecuador*.
<https://fddocuments.ec/document/libro-geologia-del-ecuador-por-ing-nunez-del-arco.html>
- Ortuño, L; Murillo, T; Uriel & Asociados S.A. (s.f.). *Anclajes y bulones*.
<http://www.urielyasociados.es/img/formacion/Anclajes-y-bulones-PPT.pdf>
- Pazmiño, N., & Michaud, F. (2009). *Descripción de los Sedimentos Marinos en la Cordillera Submarina de Carnegie*.
https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-11/010051362.pdf
- Proaño, G. (2009). *Geología*.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6367/10/4.GEOLOGIA.pdf>

- Ramírez, P., & Alejano, L. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de taludes*.
https://oa.upm.es/14183/1/Mecanica_de_rocas_1.pdf
- Ríos, F. A. (2013). *Estabilidad de taludes en rocas y suelos*.
https://www.researchgate.net/publication/324507337_Estabilidad_de_taludes_y_laderas_Analisis_cuantitativo_y_cualitativo
- Rojas, M., Villavicencio, G., Becker, A., & Chang, L. (1989). *El mercado del suelo urbano y barrios populares en Guayaquil*.
https://biblio.flacsoandes.edu.ec/shared/biblio_view.php?bibid=14033&tab=opac
- Ruesta, M. (2017). *Construcción de un talud reforzado y muro de tierra estabilizada mediante la tecnología tierra armada*.
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3237/TSP_ICI_005.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sánchez, C., Rivadeneira, J., & Lucas, N. (2017). *Levantamiento geológico en el campus gustavo galindo - espol, Guayaquil-ecuador*.
https://www.researchgate.net/profile/Cristhian-Sanchez-Padilla/publication/321513018_Levantamiento_Geologico_ESPOL_Campus_Gustavo_Galindo/links/5a260dffaca2727dd880f811/Levantamiento-Geologico-ESPOL-Campus-Gustavo-Galindo.pdf
- Sobarzo, V., Villalobos, F., & King, R. (2011). Estudio de la estabilidad de taludes en roca meteorizada de la formación Quiriquina. *Obras y Proyectos*, 9, 38-48. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/oyp/n9/art05.pdf>.
- Suárez, J. (2012). *Deslizamientos. Tomo II: técnicas de remediación*.
<https://www.erosion.com.co/download/cap-3-estructuras-de-contencion>
- Suárez-Burgoa, L. (2015). *Análisis de estabilidad de taludes con aplicaciones en MATLAB*. <https://www.researchgate.net/publication/330834443>
- Tarback, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la tierra: Introducción a la geología física*. Prentice Hall / Pearson.

- Tarbutk, E., & Lutgens, F. (2013). *Ciencias de la tierra*.
<https://ucsg.vitalsource.com/reader/books/9788490353943/pageid/0>
- Tecnocarreteras. (2013). *Tecnología de hidrosiembra para asegurar la estabilidad de los taludes de carreteras*.
<https://www.tecnocarreteras.es/2013/10/03/tecnologia-de-hidrosiembra-para-asegurar-la-estabilidad-de-los-taludes-de-carreteras/>
- Vallejo, C., Spikings, R. A., Horton, B. K., Luzieux, L., Thomsen, T. B., & Winkler, W. (2019). *Late cretaceous to miocene stratigraphy and provenance of the coastal forearc and Western Cordillera of Ecuador: Evidence for accretion of a single oceanic p*. Elsevier Inc.
- Van Melle, J., Vilema, W., Faure-Brac, B., Ordoñez, M., Lapierre, H., Jimenez, N., . . . Garcia, M. (2008). Pre-collision evolution of the Piñón oceanic terrane of SW Ecuador: stratigraphy and geochemistry of the “Calentura Formation” . *Bulletin de la Société Géologique de France*, 179(5), 433–443. <https://doi.org/10.2113/GSSGFBULL.179.5.433>.
- Velasteguí, E. (2018). Consecuencias de la disminución de la flora endémica del Mundo, Ecuador y la Amazonia. *ConcienciaDigital*, 1(2), 53–63. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v1i2.859> .
- Viteri, A. D. (2022). *Estudio de la correlación de las propiedades físicas y mecánicas de aluminosilicato de la cordillera chongón-colonche como sustituto parcial del cemento*.
<http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/35917/1/Tesis-I.C.-1602-Viteri-Acosta-Alvaro-Daniel.pdf>

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Carchipulla Leal, Alvaro Manuel**, con C.C: # 0705895308 autor del trabajo de Titulación: **Pantalla reticulada y prefabricada de hormigón con anclajes postensados para el tratamiento de taludes inestables**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, 03 de marzo del 2023



f. _____

Nombre: **Carchipulla Leal, Alvaro Manuel**

C.C: **0705895308**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Pantalla Reticulada y Prefabricada de Hormigón con Anclajes Postensados para el Tratamiento de Taludes Inestables.		
AUTOR(ES)	Alvaro Manuel, Carchipulla Leal		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Martínez Rehpani Colón Gilberto, M. Sc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	03 de marzo del 2023	No. DE PÁGINAS:	152
ÁREAS TEMÁTICAS:	Geotecnia, Ingeniería de Suelos, Mecánica de rocas.		
PALABRAS KEYWORDS:	CLAVES/	Sistema de Anclajes Individuales Postensados, Muros Anclados, Soil Nailing, Cerro San Eduardo, Meteorización, Lluvias, Taludes Inestables.	

RESUMEN:

El presente trabajo estudia el uso de la pantalla reticular prefabricada de hormigón con anclajes postensados como una solución alternativa para reducir la vulnerabilidad por taludes susceptibles al deslizamiento existentes en la zona urbana y vial del cerro san Eduardo de Guayaquil. Para esto, se realiza un levantamiento bibliográfico de los fundamentos teóricos y metodológicos de soluciones relacionadas con el uso de pantalla reticular prefabricada y postensada para el tratamiento de taludes inestables, con el objetivo de proponer una adaptación de esta solución alternativa para las condiciones de las zonas de estudio en el cerro San Eduardo. El planteamiento esquemático y experimental del uso de pantalla reticular prefabricada y postensada se consigue mediante ensayos de laboratorio, gráficos e imágenes de las zonas de estudio, por lo que se sugiere que, debido a las condiciones y accesibilidad limitada del cerro san Eduardo, los factores climáticos, los sismos y la meteorización, el uso de pantalla reticular prefabricada de hormigón y postensada es viable y sustentable ante otros métodos tradicionales.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593969141893	E-mail: alvaro_cml@outlook.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Clara Glas Cevallos	
	Teléfono: +593-4 -2206956	
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		