



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

**TEMA:**

**Defensas dinámicas sucesivas para zonas amenazadas por caída de rocas del cerro San Eduardo, Guayaquil.**

**AUTOR:**

**Idrovo Ortiz, Gabriel Andrés**

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

**TUTOR:**

**Ing. Martínez Rehpani Colón Gilberto, M. Sc.**

**Guayaquil, Ecuador**

**20 de septiembre del 2022**



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 **Idrovo Ortiz, Gabriel Andrés** como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

**TUTOR**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Martínez Rehpani Colón Gilberto, M. Sc.**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

f. \_\_\_\_\_

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

**Guayaquil, a los 20 del mes de septiembre del año 2022**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Idrovo Ortiz, Gabriel Andrés**

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Defensas dinámicas sucesivas para zonas amenazadas por caída de rocas del cerro San Eduardo, Guayaquil** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

**Guayaquil, a los 20 del mes de septiembre del año 2022**

**EL AUTOR**

f. \_\_\_\_\_

**Idrovo Ortiz, Gabriel Andrés**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Idrovo Ortiz, Gabriel Andrés**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Defensas dinámicas sucesivas para zonas amenazadas por caída de rocas del cerro San Eduardo, Guayaquil**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 20 del mes de septiembre del año 2022**

**EL AUTOR:**

f. \_\_\_\_\_

**Idrovo Ortiz, Gabriel Andrés**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**REPORTE URKUND**



**Document Information**

Analyzed document	Tesis. Idrovo Ortiz, Gabriel. 085e22 (2).docx (D144245463)
Submitted	9/17/2022 12:29:00 AM
Submitted by	
Submitter email	clara.glas@cu.ucsg.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com

**Sources included in the report**

<b>SA</b>	<b>TESIS BRYAN HURTADO.docx</b> Document TESIS BRYAN HURTADO.docx (D80112626)
<b>SA</b>	<b>PRACTICA+DE+FENOMENOS+GEOLOGICOS.pdf</b> Document PRACTICA+DE+FENOMENOS+GEOLOGICOS.pdf (D125220551)
<b>SA</b>	<b>TESIS.docx</b> Document TESIS.docx (D14973136)
<b>SA</b>	<b>UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_RIDERRUIZ_MOISESINFANTE_V1.pdf</b> Document UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_RIDERRUIZ_MOISESINFANTE_V1.pdf (D110619303)
<b>W</b>	URL: <a href="https://pubs.geoscienceworld.org/qjgeh/article-abstract/28/3/207/336337/The-description-and-classification-of-weathered?redirectedFrom=fulltextAr">https://pubs.geoscienceworld.org/qjgeh/article-abstract/28/3/207/336337/The-description-and-classification-of-weathered?redirectedFrom=fulltextAr</a> Fetched: 9/17/2022 12:30:00 AM
<b>W</b>	URL: <a href="http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/897/TRABAJO%20FINAL_JOSE%20LUIS%20PAIMA%20AGUIRRE.pdf?sequence=4&amp;isAllowed=yPeralta">http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/897/TRABAJO%20FINAL_JOSE%20LUIS%20PAIMA%20AGUIRRE.pdf?sequence=4&amp;isAllowed=yPeralta</a> Fetched: 9/17/2022 12:31:00 AM
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/655331/CornejoF_B.pdf?sequence=3&amp;isAllowed=yCrisp">https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/655331/CornejoF_B.pdf?sequence=3&amp;isAllowed=yCrisp</a> Fetched: 9/17/2022 12:30:00 AM
<b>W</b>	URL: <a href="https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=24908Paima">https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=24908Paima</a> Fetched: 9/17/2022 12:31:00 AM
<b>SA</b>	<b>TESIS_COMPLETA_VERO Revisada.docx</b> Document TESIS_COMPLETA_VERO Revisada.docx (D69580230)

## **AGRADECIMIENTO**

Principalmente quiero agradecerle a Dios; mi padre, por brindarme su amor incondicional, la sabiduría y la ganas de superarme en esta noble profesión, que me llevó a convertirme en ingeniero civil, en una institución tan prestigiosa como lo es la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

A mi madre, quien no solo me ha brindado su amor, sino su tiempo, dedicación y apoyo en esta etapa muy importante de mi vida y en los momentos cuando más la he necesitado. A mi padre, por inculcarme la iniciativa de estudiar esta carrera y ayudarme en mi sueño de ser un profesional. A mi abuelita, quien se convirtió desde el primer momento de mi vida en mi segunda mamá y me ha cuidado cada segundo. A mi abuelito, por ser mi segundo papá y contarme todas sus historias, que me motivaron para convertirme en el buen profesional y ser humano que él siempre soñó para mí.

A Kimberly; mi novia, que desde que llegó a mi vida me brindó su amor y motivación para seguir adelante con esta carrera, aún en los momentos cuando todo se volvía complicado y la meta no parecía posible. A mi suegra por todo su apoyo. A Maritza, quien ha cuidado de mi desde el día en que llegó a mi vida. A mis gatos Polo y Oso, quienes por largas noches han sido mi compañía durante la elaboración de este trabajo.

Por último, y no menos importante, a mi tutor, el ingeniero Gilberto Martínez, quien desde que acudí a él, me recibió con la mejor disposición y ganas de compartir sus ideas y conocimientos conmigo, demostrando así su interés por los jóvenes profesionales y la ingeniería civil como herramienta para ayudar a la sociedad.

## DEDICATORIA

Quiero agradecerle ante todas las cosas a Jesús; mi señor, por la oportunidad de estudiar lo que más me gusta y poder convertirme en ingeniero civil. A toda mi familia, mi madre querida, quien siempre ha sido mi apoyo; mi padre, que me he brindado siempre su ayuda; mi novia , que con su amor ha logrado ayudarme a ser mejor; y a mi abuelita, quien me ha llenado de amor.

Especialmente, este trabajo se lo dedico a mi abuelito Aurelio Ortiz, quien ya no se encuentra entre nosotros, pero cuyo sueño siempre fue ver a su nieto triunfar en su vida profesional. Esto es por ti abuelito. Te amo.

*"Bendeciré a Jehová que me aconseja;  
Aun en las noches me enseña mi conciencia.  
A Jehová he puesto siempre delante de mí;  
Porque está a mi diestra, no seré conmovido.  
Se alegró por tanto mi corazón, y se gozó mi alma;  
Mi carne también reposará confiadamente."*

**Salmos 16:7-10**



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

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

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

DIRECTORA DE CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Guillermo Ponce Vásquez, M. Sc.**

DOCENTE

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Francisco Grau, M. Sc.**

OPONENTE

## ÍNDICE

ÍNDICE .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVIII
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	2
Antecedentes .....	3
Planteamiento del problema .....	4
Justificación.....	4
Zonas de estudio.....	5
Objetivos .....	7
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos .....	7
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.....	8
1.1 Marco legal.....	8
1.1.1 Constitución Nacional de la República del Ecuador.....	8
1.1.2 Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017 .....	9
1.1.3 Estatuto de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG)..	9
1.1.4 Convenio cerro San Eduardo-UCSG.....	10
1.2 Ubicación del cerro San Eduardo.....	11
1.2.1 Lluvias en la ciudad de Guayaquil .....	12
1.2.2 Cooperativas Virgen del Cisne y 25 de Julio .....	13
1.2.3 Viviendas típicas del barrio San Eduardo .....	14
1.3 Problemática socioambiental.....	16
1.3.1 Expansión urbana no planificada .....	16
1.3.2 Barrio San Eduardo sobre un antiguo botadero de basura .....	18
1.3.3 Caída de rocas .....	20
1.4 Geográfico, geología regional y estratigráfico.....	21
1.4.1 Cordillera Chongón-Colonche .....	21
1.4.2 Cordillera submarina de Carnegie.....	21
1.4.3 Influencia sísmica del cerro San Eduardo .....	23
1.4.4 Formación Cayo .....	23

1.4.5	Formación Guayaquil.....	24
1.5	Movimiento en masa .....	24
1.5.1	Deslizamientos .....	25
1.5.2	Flujos.....	25
1.5.3	Reptación.....	26
1.5.4	Caídas.....	27
1.6	Mecánica de caída de rocas .....	29
1.6.1	Mecanismos de falla en taludes de roca .....	29
1.6.2	Factores que favorecen la falla del cerro y la caída de rocas .....	36
1.6.3	Movimiento posfalla .....	43
1.6.4	Caídas de rocas.....	44
1.6.5	Flujo de detritos.....	45
1.7	Métodos y sistemas para reducir y controlar la caída de rocas .....	45
1.7.1	Estabilización de taludes rocosos .....	46
1.7.2	Limpieza y saneo.....	47
1.7.3	Variación de la pendiente del talud .....	47
1.7.4	Sistemas no aptos en el cerro San Eduardo.....	48
1.7.5	Sistemas de defensa pasivos.....	51
1.7.6	Guía de diseño según ETAG 027 .....	55
1.7.7	Defensas dinámicas sucesivas .....	58
1.8	Marco histórico .....	59
<b>CAPÍTULO II. DESARROLLO METODOLÓGICO Y PRÁCTICO .....</b>		<b>62</b>
2.1	Materiales .....	62
2.1.1	Recursos Humanos .....	62
2.1.2	Recursos de equipos .....	62
2.2	Metodología de la investigación.....	62
2.2.1	Investigación documental.....	63
2.2.2	Investigación de campo.....	63
2.3	Técnicas y métodos de recolección y análisis de datos.....	64
2.3.1	Programa Google Earth Pro .....	64
2.3.2	Programa AutoCAD.....	64
2.3.3	Programa QGIS .....	64
2.3.4	Utilización de un dron .....	65

2.3.5	Curvas de nivel y perfiles topográficos.....	65
2.3.6	Recopilación de fotografías.....	65
2.4	Sistemas de barreras dinámicas a nivel mundial .....	65
2.4.1	Aplicaciones .....	65
2.5	Procesamiento e implementación de la información.....	68
2.5.1	Reconocimiento del lugar.....	68
2.5.2	Características geológicas .....	70
2.5.3	Vegetación existente .....	73
2.5.4	Estudio topográfico .....	74
2.5.5	Análisis fotográfico .....	78
2.5.6	Antecedentes de riegos en la zona.....	78
2.5.7	Actualidad de riesgo en la zona.....	80
2.5.8	Áreas de riesgos involucradas .....	82
2.5.9	Probabilidad de caída rocas y flujo de detritos en el cerro San Eduardo	83
2.5.10	Rutas de bloques y rocas desprendidas .....	84
2.5.11	Método de falla.....	86
2.5.12	Análisis de pendiente .....	86
2.6	Defensas dinámicas sucesivas .....	86
2.6.1	Componentes de las defensas .....	86
2.6.2	Factor de seguridad .....	91
2.6.3	Dimensionamiento .....	92
2.6.4	Construcción.....	93
2.6.5	Mantenimiento .....	93
<b>CAPÍTULO III. PROPUESTA GEOTÉCNICA A PARTIR DEFENSAS</b>		
<b>DINÁMICAS SUCESIVAS .....</b>		
3.1	Sistema de defensas dinámicas sucesivas en la ciudad de Guayaquil.....	95
3.2	Defensas dinámicas sucesivas (zona 1).....	95
3.2.1	Características de los caídos.....	95
3.2.2	Ubicación .....	98
3.2.3	Diseño por energía MEL y SEL.....	100
3.2.4	Dimensionamiento de las defensas dinámicas sucesivas .....	101
3.2.5	Factor de seguridad .....	102
3.3	Defensas dinámicas sucesivas (zona 2).....	103

3.3.1	Características de los caídos y flujo de detritos .....	103
3.3.3	Diseño por resistencia a la presión dinámica .....	108
3.3.4	Dimensionamiento de las defensas dinámicas sucesivas .....	109
3.3.5	Factor de seguridad .....	110
3.4	Proceso para la instalación de las defensas dinámicas sucesivas.....	111
3.4.1	Replanteo del terreno .....	111
3.4.2	Comienzo de las perforaciones .....	112
3.4.3	Preparación de mortero para la ubicación de los pernos.....	113
3.4.4	Colocación de elementos adicionales en los pernos y elaboración de la cimentación.....	113
3.4.5	Colocación de elementos adicionales para los cables de anclaje .....	114
3.4.6	Colocación de postes.....	115
3.4.7	Instalación de red de anillos y mallas.....	115
3.5	Seguridad del sistema.....	116
3.6	Ventajas y desventajas del sistema.....	116
3.6.1	Ventajas.....	116
3.6.2	Desventajas.....	117
3.7	Esquemas y croquis.....	118
3.7.1	Defensas dinámicas sucesivas para caída de rocas en la zona 1 .....	118
3.7.2	Defensas dinámicas sucesivas para flujo de detritos en la zona 2 .....	130
3.8	Conclusiones .....	143
3.9	Recomendación .....	143
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	144
	ANEXOS.....	153

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Ubicación de la zona 1 (azul) y la zona 2 (amarillo)</i> .....	5
Figura 2	<i>Mapa geográfico donde se ubica la zona de estudio en el cerro San Eduardo en la Av. Barcelona, Guayaquil (zona 1)</i> .....	6
Figura 3	<i>Mapa geográfico donde se ubica la zona de estudio en el cerro San Eduardo junto al túnel (zona 2)</i> .....	6
Figura 4	<i>Viviendas ubicadas en el Bosque Cerro Paraíso, perteneciente al cerro San Eduardo</i> .....	12
Figura 5	.....	17
	<i>Expansión urbana no planificada en el cerro San Eduardo (zona 1), junto al Estadio Monumental frente al Estero Salado</i> .....	17
Figura 6	.....	17
	<i>Expansión urbana no planificada en el cerro San Eduardo (zona 2), junto a la entrada del túnel San Eduardo</i> .....	17
Figura 7	<i>Modelo irregular del fondo marino en el Pacífico sur oriental</i> .....	22
Figura 8	<i>Zonas sísmicas con valor del factor de zona z</i> .....	23
Figura 9	<i>Mapa geológico de los cerros San Eduardo y Bellavista</i> .....	24
Figura 10	<i>Fenómeno de reptación</i> .....	26
Figura 11	<i>Modelos de trayectorias de caídas de rocas de acuerdo con la inclinación del talud</i> .....	27
Figura 12	<i>Caída de bloques rodando</i> .....	28
Figura 13	<i>Caídas de bloques por gravedad en roca fracturada</i> .....	28
Figura 14	<i>Esquema de una falla planar</i> .....	32
Figura 15	<i>Esquema de una falla en cuña</i> .....	33
Figura 16	<i>Esquema de falla de tipo volteo en un macizo rocoso</i> .....	35
Figura 17	<i>Inclinación del macizo rocoso en la zona alta de cerro San Eduardo (zona 1)</i> .....	35
Figura 18	<i>Factores que influyen en la caída de rocas</i> .....	37
Figura 19	<i>Efectos de la meteorización en lugares poblados</i> .....	39
Figura 20	<i>Ubicación precaria de una vivienda sobre un macizo de roca meteorizada (zona 1)</i> .....	39
Figura 21	<i>Vivienda asentada sobre roca afectada por la meteorización (zona 2)</i> ... 40	40

Figura 22 <i>Pendiente de las viviendas ubicadas en la zona más alta del cerro (zona 2)</i> .....	41
Figura 23 <i>Técnicas de remediación ante amenaza de deslizamientos</i> .....	46
Figura 24 <i>Esquema de mallas del sistema TECCO</i> .....	49
Figura 25 <i>Ubicación de una defensa dinámica</i> .....	54
Figura 26 <i>Esquema indicativo de la altura residual en una defensa dinámica</i> .....	56
Figura 27 <i>Vista trasera de una defensa contra caídos</i> .....	58
Figura 28 <i>Vista lateral de una defensa contra caídos</i> .....	58
Figura 29 <i>Uno de los primeros bosquejos de sistemas contra caídas de rocas para proteger al tráfico</i> .....	60
Figura 30 <i>Primeras barreras con marco de madera para protección de avalanchas</i> .....	61
Figura 31 <i>Ensayo de la defensa dinámica RMC 300/A</i> .....	66
Figura 32 <i>Colocación de defensa dinámica</i> .....	67
Figura 33 <i>Colocación de defensa dinámica</i> .....	67
Figura 34 <i>Aplicación de una defensa en Ende-Detusoko National Road, ID</i> .....	68
Figura 35 <i>Mapa satelital de la zona 1 junto al Estadio Monumental</i> .....	69
Figura 36 <i>Mapa satelital de la zona 2 junto a la entrada del túnel</i> .....	70
Figura 37 <i>Rocas sueltas en la zona alta del cerro San Eduardo (zona 1)</i> .....	71
Figura 38 <i>Sección desprendida del macizo rocoso (zona 1)</i> .....	71
Figura 39 <i>Sección desprendida del macizo rocoso (zona 1)</i> .....	72
Figura 40 <i>Acumulación de rocas sueltas, basura y madera (detritos) (zona 2)</i> .....	72
Figura 41 <i>Densa cobertura vegetal en el talud con riesgo de deslizamiento (zona 1)</i> .....	73
Figura 42 <i>Vegetación existente (zona 1)</i> .....	74
Figura 43 <i>Equipo topográfico utilizado</i> .....	75
Figura 44 <i>Topografía y ubicación de los perfiles en la zona 1</i> .....	76
Figura 45 <i>Perfil topográfico seleccionado</i> .....	77
Figura 46 <i>Rocas desprendidas en la Av. Modesto Apolo</i> .....	79
Figura 47 <i>Defensa empírica elaborada por lo moradores del cerro San Eduardo debido a la caída de rocas (zona 1)</i> .....	79
Figura 48 <i>Roca desprendida próxima a caer (zona 2)</i> .....	80
Figura 49 <i>Inestabilidad en casa comunal del barrio San Eduardo (zona 2)</i> .....	81

Figura 50	<i>Vivienda ubicada en una ladera propensa a caída de bloques (zona 1)..</i>	81
Figura 51	<i>Zona de estudio 1.....</i>	82
Figura 52	<i>Zona de estudio 2.....</i>	82
Figura 53	<i>Ruta para flujo de detritos (zona 2).....</i>	85
Figura 54	<i>Ruta de caída de bloques (zona 1).....</i>	85
Figura 55	<i>Red de cuatro anillos (izquierda) y red de seis anillos (derecha).....</i>	88
Figura 56	<i>Esquema de anclajes para defensas dinámicas.....</i>	90
Figura 57	<i>Determinación referencial del volumen de un bloque.....</i>	96
Figura 59	<i>Fotografía aérea de la zona amenazada donde se ubicarán las defensas dinámicas sucesivas para caída de rocas.....</i>	99
Figura 60	<i>Ubicación satelital de las defensas dinámicas sucesivas para caída de rocas.....</i>	99
Figura 61	<i>Mapa de escurrimientos y cursos de agua del cerro de la zona 2.....</i>	106
Figura 62	<i>Ubicación de las defensas dinámicas sucesivas para flujo de detritos ...</i>	107
Figura 63	<i>Ubicación satelital de las defensas dinámicas sucesivas para flujo de detritos.....</i>	108
Figura 64	<i>Replanteo de la zona y marcación de puntos de perforación.....</i>	112
Figura 65	<i>Marcación y perforación de puntos de anclaje.....</i>	112
Figura 66	<i>Elaboración de mezcla para anclajes.....</i>	113
Figura 67	<i>Instalación de pernos y elementos adicionales.....</i>	114
Figura 68	<i>Instalación de cables y accesorios.....</i>	114
Figura 69	<i>Instalación de postes.....</i>	115
Figura 70	<i>Implementación de una malla argollas deformables.....</i>	116
Figura 71	<i>Esquema completo de una defensa dinámicas sucesiva para caída de rocas en la zona 1.....</i>	118
Figura 72	<i>Detalle de malla de retención para caída de rocas.....</i>	119
Figura 73	<i>Detalle malla adicional para retener pequeñas partículas desprendido de caídos.....</i>	119
Figura 74	<i>Detalle de perfil escogido como poste.....</i>	120
Figura 75	<i>Detalle de cimentación: pernos de anclajes puestos en bloques de mortero.....</i>	120
Figura 76	<i>Disposición de cables anclados al monte (suelo).....</i>	121
Figura 77	<i>Detalle de acople de cables a través de cáncamos.....</i>	122

Figura 78 <i>Esquema de atenuador tubular simple como disipador de energía del sistema</i> .....	122
Figura 79 <i>Vista isométrica del esquema de la defensa dinámica</i> .....	123
Figura 80 <i>Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para caída de rocas</i> .....	124
Figura 81 <i>Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para caída de rocas</i> .....	125
Figura 82 <i>Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para caída de rocas</i> .....	126
Figura 83 <i>Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para caída de rocas</i> .....	127
Figura 84 <i>Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para caída de rocas</i> .....	128
Figura 85 <i>Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para caída de rocas</i> .....	129
Figura 86 <i>Esquema completo de una defensa dinámica sucesiva para flujo de detritos en la zona 2</i> .....	130
Figura 87 <i>Detalle de malla de anillos deformables, perfil seleccionado para el poste y ángulo puesto encima del cable de soportar para brindar protección contra la abrasión</i> .....	131
Figura 88 <i>Detalle de cable de soporte inferior y tipo de pernos de anclaje</i> .....	131
Figura 89 <i>Vista frontal de defensa dinámica para flujo de detritos</i> .....	132
Figura 90 <i>Detalle de ubicación de anillos de freno como disipador de energía y pernos de anclajes colocados en los taludes laterales</i> .....	133
Figura 91 <i>Anillos de freno puestos en la parte inferior</i> .....	133
Figura 92 <i>Vista isométrica de la ubicación de los anillos de frenado y los cables de retención</i> .....	134
Figura 93 <i>Vista amplificada de la malla de anillos, cables, protección contra la abrasión y anillos de frenado</i> .....	135
Figura 94 <i>Vista isométrica de la defensa dinámica sucesiva</i> .....	136
Figura 95 <i>Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para flujo de detritos</i> .....	137

Figura 96 <i>Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para flujo de detritos</i> .....	138
Figura 97 <i>Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para flujo de detritos</i> .....	139
Figura 98 <i>Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para flujo de detritos</i> .....	140
Figura 99 Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para flujo de detritos.....	141
Figura 100 <i>Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para flujo de detritos</i> .....	142

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Tipología de viviendas en la ciudad de Guayaquil</i> .....	15
Tabla 2. <i>Modos de falla de macizos de roca fracturada</i> .....	31
Tabla 3. <i>Componentes de una barrera contra caídos</i> .....	57
Tabla 4. <i>Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos</i> . .....	84
Tabla 5. <i>Clasificación de pendientes</i> . ....	86
Tabla 6. <i>Clases de kit de protección contra la caída de rocas</i> . ....	100

## ÍNDICE DE ECUACIONES

(Ecuación 1) .....	91
(Ecuación 2) .....	92
(Ecuación 3) .....	97
(Ecuación 4) .....	98
(Ecuación 5) .....	100
(Ecuación 6) .....	102
(Ecuación 7) .....	103
(Ecuación 8) .....	104
(Ecuación 9) .....	104
(Ecuación 10) .....	105
(Ecuación 11) .....	108
(Ecuación 12) .....	111
(Ecuación 13) .....	111

## **Resumen**

La presente investigación tuvo origen en los hechos que ocurrieron en el área donde se realizó el estudio. Estos antecedentes hacen referencia a la caída de rocas y flujo de detritos en la zona del cerro San Eduardo, lo cual afecta de manera negativa a las comunidades aledañas al cerro, pues pone en riesgo la vida humana, los vehículos que circulan por las calles junto al cerro y la infraestructura vial. Debido a estos motivos, se propone el uso de defensas dinámicas puestas de manera sucesiva para el control del desprendimiento de rocas, con la finalidad de brindar protección ante la amenaza de riesgo. Para esto se realizó un levantamiento bibliográfico de los temas pertinentes acerca de la zona, normativas como la Constitución de la República del Ecuador, de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil y características, componentes y el diseño esquemático de las defensas a través de la Guía Europea de Aprobación Técnica (ETAG 027). El planteamiento esquemático de las defensas se consiguió a través de tablas, gráficos y fotografías que se obtuvieron en las visitas técnicas a los lugares planteados, a lo cual se sugiere la colocación de dos defensas dinámicas sucesivas en la zona 1 y cuatro defensas dinámicas sucesivas en la zona 2, cuyas dimensiones y características se desarrollaron en el contenido del documento.

***Palabras claves:*** defensas dinámicas sucesivas, cerro San Eduardo, cordillera Chongón-Colonche, socioambiental, meteorización, lluvias, energía traslacional.

## **Abstract**

The present research has its origin in the events that occurred in the area where the study was conducted. These backgrounds refer to the fall of rocks and the flow of debris in Cerro San Eduardo, which negatively affects the communities surrounding the hills, putting human life at risk, the vehicles that circulate through the streets next to it and the road infrastructure. Due to the reasons stated, the use of dynamic defenses placed successively to control rockfall is proposed, to provide protection against the threat of risk. For this, a bibliographical survey of the pertinent topics about the area, regulations such as the Constitution of the Republic of Ecuador, of Universidad Católica Santiago de Guayaquil, and characteristics, components, and the schematic design of the defenses through the European Guide is conducted. of Technical Approval (ETAG 027). The schematic approach of the defenses is obtained through tables, graphs and photographs obtained in the technical visits to the proposed places, to which the placement of two successive dynamic defenses in Zone 1 and four successive dynamic defenses in Zone 1 is proposed. two; whose dimensions and characteristics are developed in the content of the document.

**Keywords:** successive dynamic defenses, cerro San Eduardo, cordillera Chongón-Colonche, socio-ambiental, weathering, rainfall, translational energy.

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, el desprendimiento y caída de rocas incrementó su número en toda la zona del cerro San Eduardo, lo cual afectó seriamente la infraestructura vial, la economía y las viviendas de los moradores. En la zona se han presentado antecedentes de caídos de roca y flujo de detritos, sin embargo, los pocos trabajos que se realizaron para la prevención de estos fenómenos no redujeron dichos sucesos que tienen una repercusión negativa en el ámbito económico y social.

Así las cosas, es importante mencionar que dentro de los sucesos y eventos de caída de rocas el enfoque social fue relegado a un segundo plano por parte de las autoridades competentes, a pesar de que en el cerro San Eduardo se encuentran asentamientos humanos que tomaron las áreas de las laderas del cerro de manera ilegal, los cuales cuentan con escasos recursos como lo mencionó Mora (2020). Las construcciones físicas en los asentamientos formales se caracterizan por la posesión de terrenos privados o públicos para casa o instalaciones educativas, de salud, de esparcimiento, religiosas, administrativas, todo lo que se complementa con una red urbanizada de espacios públicos abiertos, que da como consecuencia aceras, jardinería, mobiliario, señalización e infraestructura. No obstante, los asentamientos ilegales no reúnen las propiedades anteriores y se hallan en un estado de inestabilidad que perjudica la calidad de vida de los pobladores.

Debido a estas características y a la poca atención que se brinda al área social de estas comunidades, es que el peligro latente de un evento de caída de rocas y flujo de detritos agudiza el riesgo de que no solo se pierda infraestructura importante, sino también vidas humanas, que pudieron ser precauteladas con base en los antecedentes de eventos de este tipo.

## **Antecedentes**

En la ciudad de Guayaquil, específicamente en la zona del cerro San Eduardo (cercano a un escenario deportivo), son frecuentes las caídas de rocas ocasionadas por varios factores climáticos, sísmicos y socioambientales. Los registros periodísticos del Diario El Universo (2019) reportaron que el 17 de septiembre del 2019 se suscitó el cierre parcial de la Av. Modesto Apolo en sentido sur-norte debido a la caída de rocas por fisuras que presenta el cerro. Los trabajos tuvieron una duración de dos semanas, donde se interrumpió el flujo de entrada y salida del túnel San Eduardo, sin embargo, estos problemas datan de la inauguración desde la apertura de los viaductos el 31 de octubre del 2008.

De igual forma, el acontecimiento más reciente tuvo lugar el 7 de febrero del 2022, cuando se reportó un desprendimiento de material rocoso y tierra que cayó nuevamente en la Av. Modesto Apolo, lo cual provocó el cierre de dos carriles de la avenida por el que transitan alrededor de 4500 vehículos diariamente (Diario El Universo, 2022).

Todos los acontecimientos ocurridos con anterioridad muestran el alto riesgo de la zona y los inconvenientes que producen estas constantes caídas de rocas. Por esa razón, las autoridades tomaron medidas de protección como anclajes y hormigón lanzado con malla de acero, las cuales evidentemente son poco efectivas con el paso de los años, y de esta manera dejan expuestos al gran flujo de vehículos que pasan a diario por la zona.

A pesar de todos los factores de riesgos que existen, el principal peligro radica en la posibilidad de pérdidas de vidas humanas, ya sea de los conductores, o aun mayor, de las comunidades y cooperativas de bajos recursos que viven la zona baja y alta del cerro San Eduardo, lo cual aumenta de forma vertiginosa la probabilidad de una tragedia a causa del desprendimiento de rocas.

Coociendo la problemática que presenta el área de estudio y todo lo que puede provocar la caída de rocas, el objetivo principal de este trabajo se enfocó en plantear de manera eficaz con base en los conocimientos previos, la aplicación esquemática de un método distinto a los que elaboraron anteriormente las autoridades, que son las barreras dinámicas sucesivas cuya finalidad es brindarles protección a los taludes rocosos de la zona.

## **Planteamiento del problema**

Desde hace mucho tiempo, en el cerro San Eduardo ocurren una serie de eventos de peligro que afectan a las comunidades cercanas y a las vías en la zona baja del sector, estos sucesos incluyen deslizamientos, caídas de rocas que amenazan con destruir casas y vidas humanas, y flujo de detritos que obstaculizan el paso de automotores.

Esta problemática está presente tal como lo indicaron Mata y Macias (2021), quienes comentaron que los cerros Bellavista y San Eduardo están compuestos en su mayoría por formaciones específicas relacionadas a Cayo, Guayaquil, San Eduardo y depósitos aluviales. En torno a ello se evidencian presencias de rocas que poseen fracturas significativas y materiales que se sueltan, por lo que esto aumenta los riesgos de que se produzcan deslizamientos o, a su vez, la caída de diversas rocas. Como se señaló, este problema representa una gran amenaza ante la caída de elementos que se afectan por diversos factores naturales y antrópicos.

## **Justificación**

Como medida de prevención ante una catástrofe se opta por el uso de defensas dinámicas, debido a los escasos esfuerzos por la implementación de algún sistema óptimo en la zona y ante la imposibilidad de prever con exactitud un evento de caída de rocas que pueda afectar a los vehículos y habitantes del cerro, además de la poca probabilidad de salir ileso en caso de un desprendimiento de roca por la velocidad y energía que puede alcanzar el elemento en caída.

En cuanto a los eventos de caídas de rocas que ya sucedieron, se plantea el uso de barreras dinámicas sucesivas con la finalidad de reducir los accidentes en las comunidades y en las vías, así como también una medida que provea mayor estabilidad a los taludes rocosos del cerro, donde la construcción de otros sistemas y obras que tengan el mismo propósito no puedan ser elaborados debido a diversos factores como a la topografía del terreno o al costo que pueda representar en comparación al sistema planteado.

Es importante mencionar que este fenómeno de desprendimiento de rocas se debe a diversos factores a lo largo del tiempo como la descomposición de los químicos



**Figura 2**

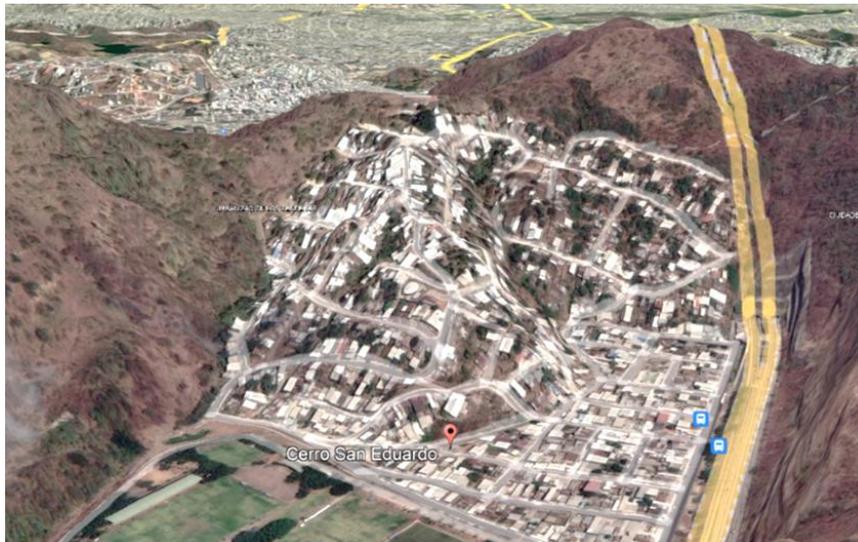
*Mapa geográfico donde se ubica la zona de estudio en el cerro San Eduardo en la Av. Barcelona, Guayaquil (zona 1)*



**Fuente:** Adaptado de Google Earth Pro.

**Figura 3**

*Mapa geográfico donde se ubica la zona de estudio en el cerro San Eduardo junto al túnel (zona 2)*



**Fuente:** Adaptado de Google Earth Pro.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Estudiar y fundamentar el funcionamiento de las defensas dinámicas sucesivas como una propuesta para la mitigación de riesgos socioambientales en áreas con amenaza de caída de rocas (o flujo de detritos), en la zona urbana y vial del cerro San Eduardo. La propuesta debe incluir criterios de implantación de este esquema o estrategia para reducir los riesgos de desastre por la caída de bloques y rocas (o flujo de detritos) desde la zona alta del cerro hasta la zona habitada.

### **Objetivos específicos**

- Realizar un levantamiento bibliográfico global que incluya las definiciones necesarias para esta investigación, el marco teórico sobre las defensas dinámicas sucesivas y las defensas estáticas, el mecanismo de caída de rocas, guías de diseño y el marco histórico.
- Llevar a cabo una revisión bibliográfica de la geotecnia básica y de la topografía en la zona alta del barrio San Eduardo. Interpretar los resultados en una de las zonas peligrosas mediante gráficos y fotos, y estimar la probabilidad de que, por acción de la caída de bloques y rocas (o flujo de detritos) desde la parte alta del cerro San Eduardo, sufran daños: las personas y sus residencias de la comunidad del barrio San Eduardo, su infraestructura física, y las actividades socioeconómicas de la población.
- Implementar a nivel esquemático la elaboración de un sistema de defensas dinámicas puestas de forma sucesiva, como mejoría ante la caída de rocas y flujo de detritos. En este esquema se tomaron en cuenta ensayos, pruebas de cargas y normativas de diseño para el dimensionamiento y construcción de la estructura propuesta con base en gráficos y tablas comparativas.

## **CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Marco legal**

Los argumentos a continuación se presentan como una justificación que le otorga legalidad y pertenencia al trabajo investigativo que se realizó, debido a que van de la mano con los derechos a una vivienda digna y a la protección que se debe brindar a la ciudadanía, lo cual entra en el campo de la ingeniería civil por medio de la problemática que se vive en el cerro San Eduardo.

#### **1.1.1 Constitución Nacional de la República del Ecuador**

En el documento de la Asamblea Nacional (2008) que expone todos los derechos a los que cada ciudadano debe tener acceso, existe un estatuto que alude al hábitat y la vivienda, el cual se puede encontrar en la sección sexta de la Constitución Nacional de la República del Ecuador mediante el Artículo 30, que expone los derechos específicos que poseen las personas, como el de vivir en un hábitat segura y saludable (Anexo 1).

El Artículo 30 alude a que las personas deben gozar del derecho constitucional de poder vivir en un espacio apto, el cual cubra sus necesidades primordiales, sin distinguir a qué estrato social pertenezca. Además, es indispensable garantizar la seguridad de la zona donde habitan los individuos y que, a su vez, no presente daños en la salud los habitantes. Así mismo, resulta importante mencionar la importancia de este artículo para el desarrollo correcto y digno de las diversas comunidades.

Ahora bien, en el Artículo 277 (Anexo 1) el Estado asume varios deberes con la población, los cuales conllevan a un buen vivir. Entre estos, el que cada ciudadano tenga derechos, así como los grupos y la naturaleza y, además, que estas personas sean provistas de bienes e infraestructura que les brinde servicios. En el caso de incumplimiento de este artículo, el su numeral 3 establece que es responsabilidad del Estado ayudar por medio de la generación de políticas que se basen en el control y la sanción del incumplimiento a los derechos, es decir, ser parte activa de que todas estas normas se cumplan, de tal manera que tener un hábitat seguro sea una realidad.

Finalmente, y en adición al artículo 277, el art. 375 considera que el Estado asegura un hábitat y vivienda digna, por tal motivo, para lograrlo se establecen estatutos basados en lo que el Estado y sus diferentes niveles deben garantizar a la comunidad, donde se considera en ello el derecho de vivienda en torno a la información que se requiere para diseñar las estrategias, mantener el catastro y la implementación de políticas y planes como ayudas al desarrollo de dicho derecho, entre otros aspectos (Anexo 1). Esto hace referencia al enfoque del Estado en la igualdad de los ciudadanos de poder gozar de una vida digna en términos de un lugar que puedan habitar, a través de políticas que mejoren la precariedad en hogares y una mejor gestión del suelo de la urbe. Esto se podrá destinar a servicios que optimicen la situación de la población.

### **1.1.2 Plan Nacional del Desarrollo 2021 - 2025**

La Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2021) establece el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población, en cuanto a lo que puede ofrecer una vivienda, tal como lo indica el Objetivo 5 en el numeral 5.4, en el que se expresa la necesidad de ayudar a garantizar el acceso al derecho como tal. Además, de este numeral se desprenden varias ideas que determinan la promoción del derecho mediante programas habitacionales, incentivan el desarrollo de viviendas, generan diferentes instrumentos de normas y mecanismos para llevar a cabo la práctica del derecho, entre otros (Anexo 2).

Estos objetivos buscan crear una sociedad en armonía, donde todas las personas puedan contar con un nivel digno, en el que se desarrolle la vida por medio de regulaciones que mejoren la calidad de vida y cumplan con estándares de calidad que sustenten el buen vivir de las personas y, a su vez, el establecimiento de normativas que posibiliten una continua aplicación de estas ideas para la población.

### **1.1.3 Estatuto de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG)**

A través del estatuto de la UCSG, el Consejo Universitario de la UCSG (2019), establece en el artículo 3 (Anexo 3) estatutos sujetos a el desarrollo profesional de los estudiantes y personal en general, lo que fomente en ello el talento profesional a través de programas y oportunidades para su progreso, así como el gestionar el conocimiento

y la diferente información válida y científica para ayudar a la solución o minimización de problemáticas sociales. Adicionalmente, en el artículo 65 se exponen los deberes de los estudiantes entre los cuales se puede resaltar el literal a, que menciona que deben cumplir con el Ecuador mediante su reglamento, lo que ayuda a solucionar las problemáticas por medio de los diferentes organismos creados para dicho trabajo.

#### **1.1.4 Convenio cerro San Eduardo-UCSG**

En la carta de compromiso entre la UCSG a través de la Facultad de Arquitectura y Diseño, Facultad de Ingeniería y Comité de Desarrollo Comunal Cerro San Eduardo (2018), con la finalidad de realizar actividades del proyecto de vinculación “Consultorio Urbano” se presentan antecedentes (Anexo 4) en los que se detalla que la UCSG busca el desarrollo profesional superior por medio de su establecimiento, lo cual contribuye a la reparación social mediante la formación de personas responsables de las diferentes actividades para con la comunidad, como parte de su progreso profesional.

A través de estos antecedentes, la UCSG adquiere una responsabilidad social con las comunidades del cerro San Eduardo, con el fin de promover un desarrollo social y mejorar la calidad por medio de actividades que vinculen y brinden el mayor provecho a los conocimientos académicos de los estudiantes, por lo cual las facultades, sobre todo la enfocada a la Arquitectura y Diseño e Ingeniería Civil, poseen diferentes servicios dirigidos al diagnóstico, implementación, desarrollo de conocimientos, promoción de mejoras y evaluación de los programas desarrollados para la comunidad mediante la formación y ayuda a los futuros profesionales a la puesta en práctica de sus saberes.

Dentro de estos compromisos se establece una colaboración con la comunidad con proyectos que favorezcan la calidad habitacional, los espacios públicos y los servicios comunitarios, con la ayuda de los proyectos que realizaron las facultades mencionadas ante la problemática de la caída de rocas y flujo de detritos en la zona del cerro San Eduardo.

## **1.2 Ubicación del cerro San Eduardo**

La ubicación del Cerro San Eduardo está dentro del Bosque Protector Cerro Paraíso, el cual estableció el Ministerio de Agricultura y Ganadería en 1989, debido a la biodiversidad de plantas existentes en el lugar dentro de las 299 hectáreas que posee. En ciudad de Guayaquil la zonas verdes se redujeron exponencialmente debido al crecimiento poblacional, comercial e industrial, lo que provocó que gran cantidad de cerros naturales se afectaran de manera negativa, como el cerro Santa Ana, que fue el lugar de los primeros asentamientos poblacionales en la ciudad; el cerro del Carmen, que se utiliza como cementerio; el cerro Colorado, que sufrió un gran incendio que exterminó casi en su totalidad la presencia de vegetación, lo cual lo convirtió en un cerro sin vida; y el cerro Mapasingue y Martha de Roldós, que ciertos asentamientos informales los tomaron por completo.

Por esta razón, la preservación del cerro San Eduardo como último vestigio de la huella verde en la periferia urbana es motivo suficiente para su preservación, sin embargo, su conservación es una tarea de varios años. Es importante tener en cuenta que en la época actual ya se evidencian asentamientos informales en el cerro; algunos informales y otros planificados.

Por un lado, los asentamientos informales están constituidos por la Cooperativa 25 de Julio y Virgen del Cisne, las cuales se sitúan en el corazón del cerro, en una zona geográfica que representa una depresión y forma un valle. Además, su difícil acceso provoca problemas para la ciudadanía, a lo que se suma su ubicación e informalidad. Las comunidades ubicadas en el cerro San Eduardo están rodeadas por tres avenidas principales de la ciudad de Guayaquil: la Av. del Bombero, Av. Carlos J. Arosemena y, la más importante, la Av. Barcelona, puesto que las únicas vías existentes que permiten llegar a la zona se conectan con esta última.

## **Figura 4**

*Viviendas ubicadas en el Bosque Cerro Paraíso, perteneciente al cerro San Eduardo*



**Fuente:** Elaboración propia

### **1.2.1 Lluvias en la ciudad de Guayaquil**

El clima en Guayaquil se caracteriza por ser tropical-húmedo, con lluvias (invierno) y una estación seca (verano), lo cual representa una preocupación habitual para una gran parte de la población, especialmente aquellos que poseen bajos recursos. La gran irregularidad de cambios climáticos provocó en ocasiones una gran cantidad de lluvias que pueden afectar negativamente a la economía de la nación. Estas lluvias tienen una estrecha relación con la corriente que afecta las costas ecuatorianas conocida como El Niño, dado que esta produce un incremento en la temperatura y tiene un período largo de duración que puede abarcar hasta finales de diciembre e incluso prolongarse hasta abril y, a su vez, puede ser perjudicial para la población, puesto que el FEN afecta de manera directa o indirecta la salud. Directamente por el cambio de las condiciones climáticas, así como también los aspectos que se enmarcan en ella como la temperatura y la humedad del ambiente; e indirectamente por la ocurrencia de desastres naturales (Hijar et al., 2016).

En Guayaquil, las lluvias significan un problema serio, debido a que estas han afectado la ciudad y tienen un impacto negativo en lo económico, social, en la salud,

ambiente y comercio. Además, las intensas lluvias ocasionaron cierre de vías y daños en viviendas por deslizamientos de tierra y caída de rocas, tal como lo mencionó Marín Nieto (2019), quien expone que cuando inician la época fluvial en Guayaquil, sobre todo en antecedentes como los sucesos del año 1997, se producen deslizamientos específicamente en las zonas pobladas pobres, precisamente las laderas son las que se resbalan y afectan a la comunidad. Estas lluvias son variables, porque en los meses previstos llueve con mayor intensidad, pero en menos días. Así pues, en abril del 2019 se tuvo un registro de 39,6 mm de agua, con lluvias de duración de hasta 12 horas continuas, e históricamente la precipitación anual es de 1000 mm, con medidas mayores durante el período del fenómeno de El Niño, con el que se registraron valores superiores a 4000 mm.

### **1.2.2 Cooperativas Virgen del Cisne y 25 de Julio**

En el cerro San Eduardo existen dos comunidades conocidas como cooperativas 25 de Julio, que se estableció en 1982; y Virgen del Cisne, la cual se fundó en 1984. La característica principal de las cooperativas es que ambas se constituyeron a partir de asentamientos informales en el cerro al oeste de la ciudad de Guayaquil, y en conjunto cuentan con alrededor de 5100 habitantes, quienes actualmente no poseen documentos que certifiquen la propiedad de sus viviendas.

Tiempo antes de que existieran estos asentamientos informales, la zona del Bosque ubicada en el cerro San Eduardo se utilizaba como botadero de basura, donde se depositaban los restos de materiales extraídos en las canteras del lugar, no obstante, debido a la presión de grupos sociales, cuyo propósito era preservar la naturaleza y vida del cerro, se empezaron a prohibir prácticas que afecten el ecosistema del zona y, a su vez, varias familias, muchas de ellas migrantes, se asentaron de manera no regulada y así se comenzaron a formar las cooperativas que se mencionaron anteriormente. En este sentido, es importante tener en consideración que la mayor parte de las familias que llegaron a la zona pertenecían a las actividades laborales de las antiguas canteras y botadero.

### **1.2.3 Viviendas típicas del barrio San Eduardo**

Cuando se asentó la primera cooperativa en 1982, llamada 25 de Julio, los moradores del sector conformaron de manera paulatina e improvisada las manzanas, debido a que, al ser un asentamiento informal, el sector no contaba con la verificación de ninguna autoridad que realizara la previa planificación urbana. Al inicio, las manzanas no estaban delimitadas de forma uniforme, puesto que la pendiente de la zona dificultaba realizar una correcta geometría para la ubicación de las viviendas; además, no existían vías claras que permitieran el acceso al resto de la ciudad, por lo cual los habitantes decidieron trazar senderos improvisados que comunicaran con otras partes de la ciudad como Bellavista, Los Ceibos y El Paraíso.

Dos años más tarde, en 1984 se estableció la cooperativa Virgen del Cisne. Esta cooperativa se asienta en la zona más baja del cerro y de manera más organizada que su predecesora, dado que para esta ocasión sus manzanas contaban con una mejor organización en forma de retícula, lo cual fue posible porque la topografía del lugar donde se asentaron era más plana.

Dentro de estas comunidades existe una tipología de vivienda que identifica al sector. Entre estas se encuentran las de uso familiar y las de uso comercial que, a su vez, se caracterizan por el escaso o nulo análisis para su construcción, puesto que los moradores del sector no cuentan con los recursos necesarios para implementar materiales de primera calidad. En el Proyecto Radius, Argudo et al. (1999) precisaron los tipos de viviendas existentes en la ciudad de Guayaquil para fines de estimación de riesgo sísmico.

En las cooperativas 25 de Julio y Virgen del Cisne la tipología existente son la A y B; es decir, la mayor parte de las viviendas que se utilizaban para cualquier actividad eran de madera y caña, y en algunas se da el uso de bloques. Todo esto no solo representa un riesgo sísmico para la comunidad, sino que no brinda ninguna seguridad para los moradores ante cualquier peligro humano o natural de la zona.

En la actualidad las cooperativas del cerro San Eduardo cuentan con asfaltado en sus vías, lo cual facilita la movilización entre varios sectores y, además, permite el acceso a líneas de transporte público.

**Tabla 1.***Tipología de viviendas en la ciudad de Guayaquil*

<b>Grado de Susceptibilidad</b>	<b>Criterio</b>
A	Madera de uno (caña, predominante en el grupo) y hasta seis pisos (unas pocas son de tres o más pisos). Con buen estado de conservación y en su mayoría de uso residencial.
B	Mixtas (estructuras de madera y paredes de bloque) de uno a seis niveles en buen estado de conservación, principalmente de uso residencial. En su mayor parte son de 1 o 2 pisos.
C	Madera o Mixtas (estructura de madera o con o sin paredes de bloque) de uno a dos niveles y en mal estado de conservación.
D	Madera o Mixtas (estructura de madera o con o sin paredes de bloque) de tres a seis pisos y en mal estado de conservación.
E	Hormigón, de uno o dos pisos y de uso residencial
F	Hormigón, de uno o dos pisos y de uso comercial
G	Hormigón, de tres a seis pisos y de uso residencial
H	Hormigón, de tres a seis pisos y de uso comercial
I	Hormigón, de seis a trece pisos
J	Hormigón, de catorce o más pisos
K	Acero, de un piso
L	Acero, de dos o más pisos

**Fuente:** Argudo et al., (1999).

En cuanto a los servicios básicos, en 2011 Interagua implementó un centro de bombeo para dotar del líquido vital a las comunidades. Por su parte, el alumbrado público, a pesar de existir, no cubre en su totalidad el número de luminarias suficientes, lo que causa inseguridad entre los moradores. La red de agua potable y alcantarillado pluvial cuenta con un total de 27,5 hectáreas y llega a toda la comunidad del cerro; no obstante, la falta de sumideros en la cooperativa 25 de Julio y la pendiente pronunciada del sector provocan deslizamientos de escorrentía, lo que ocasiona que los sumideros en la cooperativa Virgen del Cisne colapsen y se inunde la zona, debido a que están ubicados en la zona más baja del cerro.

### **1.3 Problemática socioambiental**

#### **1.3.1 Expansión urbana no planificada**

El crecimiento histórico de la ciudad de Guayaquil se dividió en etapas de tiempo y en los diversos factores que componen la ciudad en la época actual. La expansión de la ciudad comenzó hacia la zona sur desde el siglo XVII, luego hacia el oeste a partir de los siglos XIX y XX, y continuó con el norte asentado desde la segunda mitad del siglo XX hasta ahora; sin embargo, este crecimiento poblacional llevó a la ciudad a sus límites geográficos como lo son el Estero Salado hacia el sur y suroeste, la cordillera Chongón-Colonche hacia el noreste, el río Guayas hacia el este y el río Daule en dirección noreste. Además, hoy en día este crecimiento conllevó a que se sitúen poblaciones en varias parroquias antiguas como lo son Pascuales al norte y Chongón al noreste, incluso han llegado otros cantones como el Samborondón y Durán (Argudo et al., 1999).

Pese a todo este crecimiento, en Guayaquil, a partir de la segunda mitad del siglo XX hasta la época actual, se han dado constantes procesos de ocupación y toma ilegal de tierras periféricas, urbanas y públicas por parte de la población que posee menos recursos. Esto como respuesta a encontrar un lugar en donde subsistir ante la falta de recursos, debido a que muchas de esas personas provienen del campo o de sectores de la ciudad extremadamente pobres y buscan conformar estos asentamientos no planificados por tener una vivienda propia.

Todo este crecimiento urbano no planificado y la conformación de asentamientos ilegales son la suma de varios factores como la escasez de organización por parte de las autoridades y el mal manejo estructural de las zonas propensas a ser pobladas, todo esto hace referencia a la desigualdad social existente y a la incapacidad del sistema económico para generar empleos dignos.

En este orden de ideas, Villavicencio (2011) describió que Guayaquil contaba con 1 508 444 habitantes en 1990, asociados a una edificabilidad censal de 16 552 hectáreas, con una densidad poblacional de 91,1 habitantes por hectárea. Al mismo tiempo, las fábricas urbanas de la ciudad experimentaron un crecimiento acelerado y descontrolado como consecuencia de la invasión, lo que incidió en la dificultad del Estado para dotar de equipamiento e infraestructura urbana a medida que se agudizaba

la ubicación de la ciudad y el patrón de ocupación del suelo urbano, lo cual representa el panorama de la segregación social-residencial actual.

Dentro de estas estadísticas constaban las cooperativas de escasos recursos del cerro San Eduardo, que para aquel entonces tenían pocos años de haberse constituido, pero ya formaban parte de la población que posee menos recursos en la ciudad de Guayaquil, lo cual equivale a un gran peligro para la comunidad por el entorno precario en el que habitan.

**Figura 5.** *Expansión urbana no planificada en el cerro San Eduardo (zona 1), junto al Estadio Monumental frente al Estero Salado*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 6.** *Expansión urbana no planificada en el cerro San Eduardo (zona 2), junto a la entrada del túnel San Eduardo*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 7**

*Evolución y ubicación de las invasiones en Guayaquil.*



**Fuente:** Elaboración propia.

### 1.3.2 Barrio San Eduardo sobre un antiguo botadero de basura

Actualmente el cuidado ambiental y el bienestar social son temas de gran importancia a nivel mundial, algo que hace varios años atrás no representaba una preocupación para la población ni los gobiernos. Esta iniciativa comienza con elaborar un plan que pueda solventar lo que se hará con la basura de varias urbes y que en los últimos años tiene como respuesta el reciclaje y la reutilización de material que representa tanto un desecho para varias personas, como un daño para otras y para el planeta, dado que esto genera contaminación.

Los desechos que se generan en Guayaquil se traducen en un gran problema para la población y el entorno en el que viven, debido al alto crecimiento poblacional y la extensa mancha urbana que posee la urbe costeña. Esta problemática a nivel sanitario y poblacional provoca que varias poblaciones no regularizadas opten por quemar sus desechos (así lograban provocar grandes incendios que acababan con la

vegetación del cerro) o arrojarlos a cuerpos de agua cercanos, e incluso a crear negocios a partir de la recolección de la basura para poder subsistir.

Los autores Peralta y Barrios (2003) expusieron los procesos antrópicos, y mencionaron que los residuos sólidos que no se dispongan en el relleno sanitario se distribuirán de diferentes formas: se descargarán en los canales pluviales de 100 km (aprox.) que existen dentro del casco urbano de Guayaquil; río Salado, se descargan en las desembocaduras del río Daule y Guayas, se liberan para rellenar áreas invasoras: vía Perimetral, isla Trinitaria, etc. y se descargan en espacios abiertos y áreas públicas

En el año de 1988, Guayaquil no tenía un botadero con las especificaciones técnicas ni sanitarias para acoger la creciente cantidad de desechos creados por la población. Debido a esto la basura se quemaba y depositaba en los esteros, e incluso en lugares abiertos como el antiguo Botadero Municipal San Eduardo; lugar en el que hoy en día se asientan varias cooperativas y barrios informales.

Para aquellos años se producían alrededor de 1020 toneladas de basura diaria, de las cuales solo se le daba un correcto proceso de 450 toneladas y el resto se ubicaban en el Botadero Municipal sin ningún tratamiento adecuado, tal como lo indicaron Peralta y Barrios, los residuos sólidos se descargan en el relleno sanitario municipal de San Eduardo, con una superficie de 60 hectáreas. En este lugar simplemente no se utiliza la tecnología apropiada para controlar y prevenir el impacto que tienen los desechos en el medio ambiente y la salud pública. En el botadero no se especifica la secuencia de descarga y compactación de los residuos sólidos, ni se cubre con revestimientos de piedra.

Con base en estas acciones se podía percibir una gran cantidad de material lixiviado, el cual es el líquido de alta concentración contaminante proveniente del proceso de descomposición de los materiales depositados. Todo este líquido llega a contaminar la zona del botadero y el Estero Salado, el cual emana un olor desagradable y envenena los recursos naturales del lugar.

Sumado a lo anterior, la descomposición de desechos producía gas metano, además, entre los desperdicios había presencia de material explosivo proveniente de canteras cercanas, el cual reaccionaba con todos estos elementos y provocaba incendios de gran escala que no solo perjudicaba a la naturaleza, sino también a zonas urbanas cercanas como Mapasingue, El Paraíso, Los Ceibos, Urdesa y Miraflores. Esta

contaminación llegaba a través del viento, dado que los incendios producían nubes de humo que transportaban cantidades significantes de metales pesados como el mercurio, plomo, arsénico, entre otros; lo cual producía afecciones a la salud de la población.

Todo esto indica la falta de organización que existía años atrás y el peligro que las comunidades del cerro San Eduardo atraviesan en la actualidad, debido a que muchas de las cooperativas están asentadas sobre este antiguo botadero, lo que perjudica la estabilidad del terreno ante la escasa preparación estructural y genera enfermedades a la población que habita el cerro.

### **1.3.3 Caída de rocas**

Actualmente existe otra problemática importante en el sitio de estudio, con respecto a la geología del cerro. El desprendimiento de rocas en el macizo rocoso de los taludes ha provocado el cierre de varios carriles de la vía por la obstrucción de estos elementos caídos y, además, a los futuros accidentes que ocurrirán en caso de tomar medidas para el sitio.

Este proceso de caída bloques lleva presente durante varios años, y afecta la infraestructura vial y las casas ubicadas en el cerro. Estos desprendimientos son el resultado de procesos antrópicos por la explotación de material rocoso del cerro y tala de árboles, sumado a que, al estar expuestos a diferentes agentes ambientales, estos taludes rocosos pueden ir perdiendo sus propiedades geomecánicas y poseer los problemas de estabilidad que presenta el cerro San Eduardo, por lo cual es necesario establecer sistemas de protección para las vías y, aún más, para las comunidades asentadas en el lugar.

Por tal razón, se debe conocer la condición actual del talud que representan riesgo para la población, para de esa manera trabajar en él y promover soluciones y alternativas a través de análisis de métodos de protección mediante la identificación de los mecanismos de fallas y movimientos del macizo rocoso.

## **1.4 Geográfico, geología regional y estratigráfico**

Ecuador está ubicado en la zona de subducción en la que se conoce que se asienta la placa Nazca y la placa continental conocida como Sudamericana. Este territorio de subducción permite que se forme una trinchera de aproximadamente 2900 m de profundidad, situada a 40 km al oeste de la zona costera de Ecuador, con una dirección norte-sur y norte-noreste, debido a la influencia de la placa de Cocos, la dorsal de las Galápagos y el punto caliente de las Galápagos (Nuñez del Arco, 2003).

Por estos motivos, la actividad volcánica que posee Ecuador se produce por la subducción de estructuras geológicas que se encuentran sobre la placa de Nazca, como la cordillera submarina de Carnegie.

### **1.4.1 Cordillera Chongón-Colonche**

Esta cordillera es un sistema montañoso también conocido como “Cerros de Colonche”, que se ubica en la zona costera, la cual se extiende del interior de la ciudad Guayaquil hacia el norte, donde n arco que pasa por la provincia de Santa Elena hasta llegar a la provincia de Esmeraldas.

Sobre el tamaño de la cordillera, Arévalo (2021) mencionó que se encuentran ubicadas en la parte norte de la península de Santa Elena al oeste de Guayaquil, las montañas Chongón-Colonche son un hito destacado en la costa de Ecuador. Con un tramo de 100 kilómetros y una altura de 500 metros, esta cordillera homoclínica se rompe de oeste a noroeste, en ángulo recto con el curso de los Andes, a solo 80 kilómetros al este.

Desde el oeste de Guayaquil se puede observar cómo se forma un cinturón de relieves colinados, que llega hacia la costa y forma un parte de la cordillera Chongón-Colonche. Al norte de Guayaquil, estos relieves se relacionan con la formación Piñón, Cayo, San Eduardo y Guayaquil, los cuales representan relieves estructurales, tectónicos y erosivos, que son propensos a caídas de bloques (Sistema Nacional de Información, 2011).

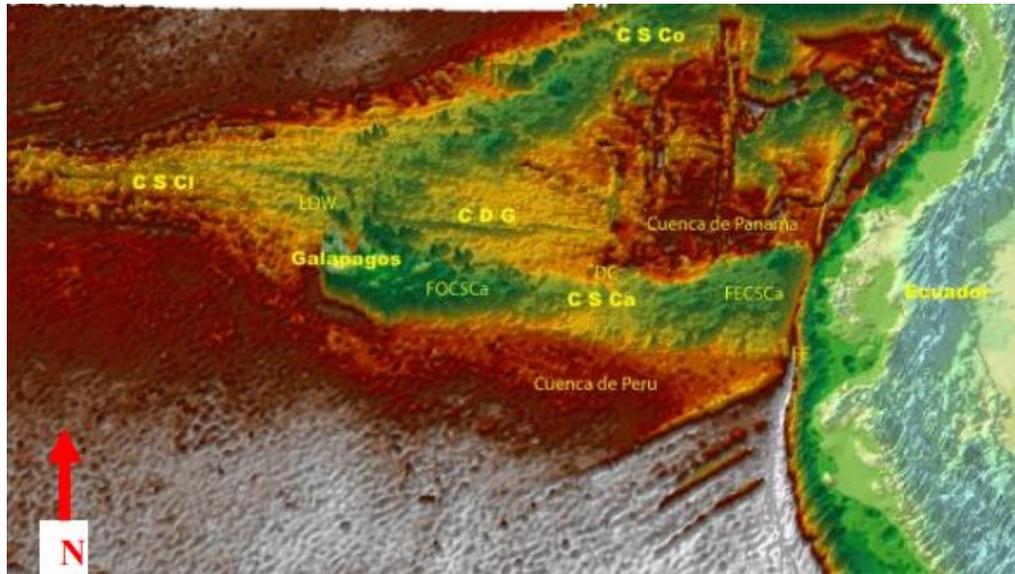
### **1.4.2 Cordillera submarina de Carnegie**

La cordillera submarina de Carnegie es una cresta resistente a los terremotos en el océano Pacífico entre la costa de Ecuador y las islas Galápagos. Sus orígenes

volcánicos se deben a interacciones entre las placas de Nazca en el punto de acceso de las Galápagos, que se extiende de 600 a 50 millas desde el continente (Subcomisión técnica de la Secretaría Técnica de la Comisión Nacional del Derecho al Mar, 2006).

### Figura 8

*Modelo irregular del fondo marino en el Pacífico sur oriental*



**Fuente:** Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada (2006).

- CSCa:** Cordillera Submarina de Carnegie
- CDG:** Centro de Divergencia de Galápagos
- CSCO:** Cordillera Submarina de Cocos
- CSCI:** Cordillera Submarina de Colon
- FE:** Fosa Ecuatoriana
- LDW:** Lineamientos estructurales Darwin y Wolf
- DC:** Depresión central de Carnegie
- FOCSCa:** Flanco Oeste Carnegie
- FECSCa:** Flanco Este de Carnegie

De acuerdo con las siglas, se puede observar cómo la cordillera marina de Carnegie choca directamente contra la costa ecuatoriana gracias al tectonismo de la zona y sus características, lo cual se provoca debido a que la cordillera de Carnegie impacta con la zona de subducción entre la placa marina y la continental; así como lo precisaron Witt, et al., (2006), la placa de Nazca se subduce hacia el este en dirección este-oeste a una velocidad de unos 6 a 7 cm/año por debajo de la placa sudamericana. El buzamiento es entre 25 y 35°. Carnegie Ridge es una placa de Nazca que se aproxima a una tendencia de profundidad de agua alta E-W, que entra en subducción

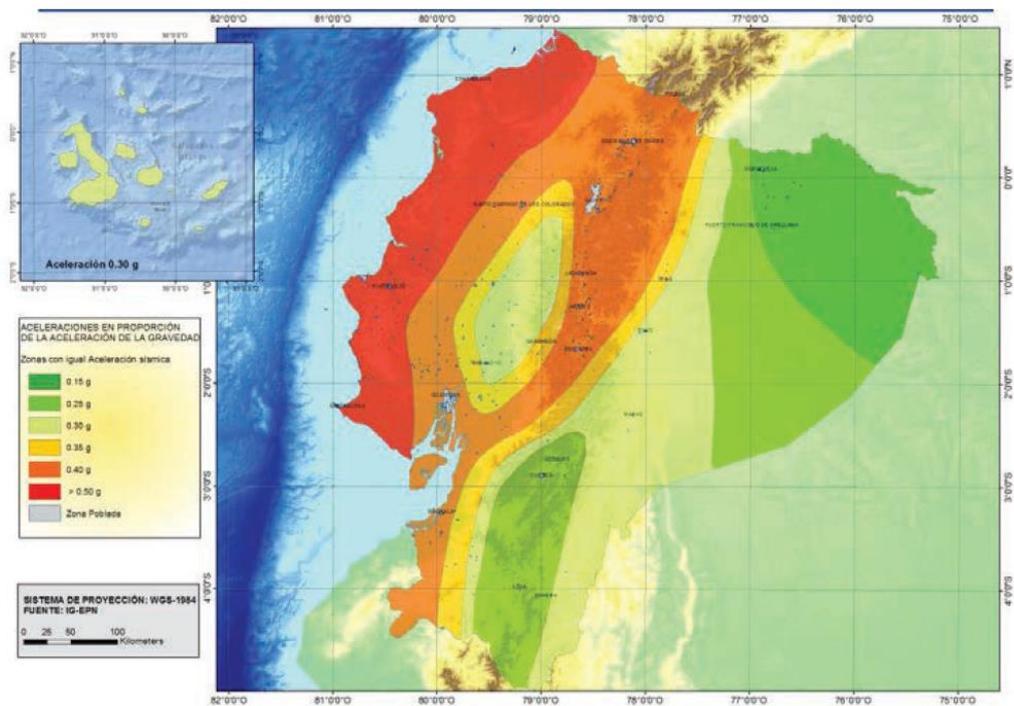
entre las latitudes 1°N y 2°S. A lo largo de la zona de colisión de Carnegie Ridge and Trench, el margen continental de Ecuador se está elevando.

### 1.4.3 Influencia sísmica del cerro San Eduardo

En concordancia con el mapa de peligro sísmico para diseño, la zona de estudio se ubica con características de alta peligrosidad sísmica, debido a que pertenece a la zona, y posee un valor de factor  $z = 0,4$ .

### Figura 9

*Zonas sísmicas con valor del factor de zona  $z$ .*



**Fuente:** Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (2015).

### 1.4.4 Formación Cayo

La zona del cerro San Eduardo pertenece a la formación Cayo, la cual aflora a lo largo de la cordillera Chongón-Colonche, desde Guayaquil (al noroeste de la ciudad) hasta Puerto Cayo. Su origen es volcánico y contiene vertientes propensas a la erosión con relieves colinados altos y sedimentos donde predominan lutitas entre paquetes de arenisca, lutita silíceas y presencia de material volcánico como tobas finas.

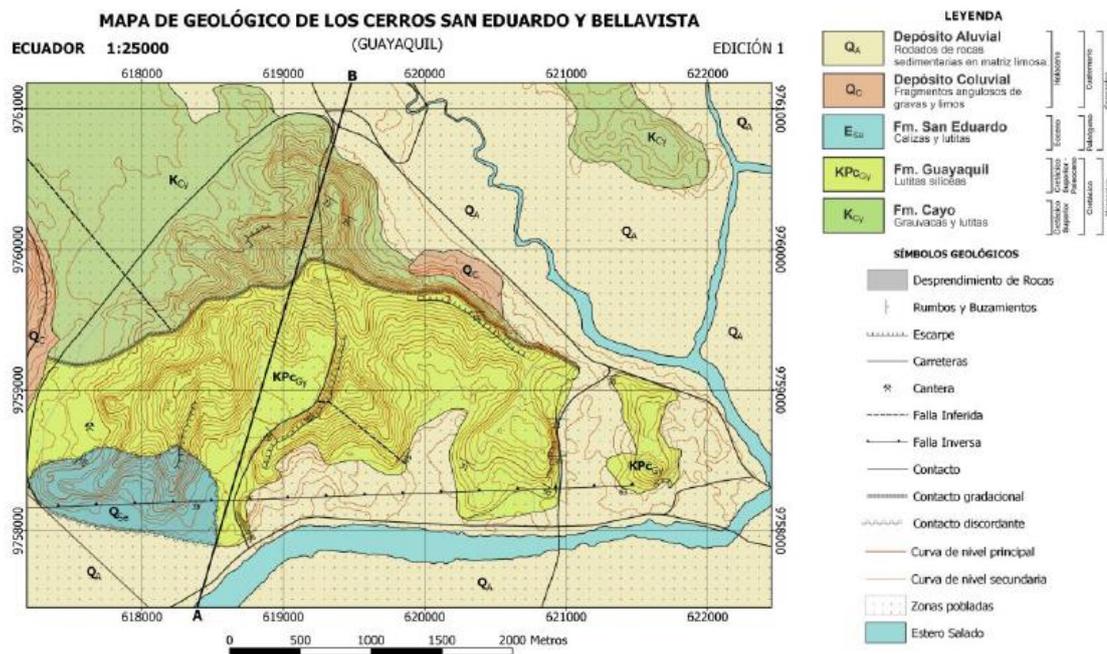
Además, la formación Cayo constituida por areniscas de grano fino a medio, asociados con matorrales y pastos, cuenta con pendientes predominantes del 40 al 100 %, lo que representa una alta amenaza a caídas de rocas y movimientos de masas (Sistema Nacional de Información, 2011).

### 1.4.5 Formación Guayaquil

Esta formación se localiza en la zona del barrio San Pedro en la ciudad de Guayaquil. Está compuesta por argilitas silicificadas, cherts, lutitas silíceas y calcáreas y tobas finas. Estratigráficamente se encuentra por debajo de la formación Cayo y por encima de la formación San Eduardo según Ordoñez (2006).

**Figura 10**

*Mapa geológico de los cerros San Eduardo y Bellavista*



**Fuente:** Arévalo (2021).

### 1.5 Movimiento en masa

Los movimientos de masa se pueden definir como desplazamientos del terreno a favor de la pendiente. Su origen tiene una gran cantidad de factores y procesos como los geológicos, químicos, mecánicos, antrópicos, eventos sísmicos, excavaciones para

adecuación de viviendas, aperturas de vías, entre otros (Sistema Nacional de Información, 2011).

Estos movimientos producen cambios muy perceptibles en los terrenos afectados como agrietamientos, desprendimientos de grandes cantidades de roca o tierra y hundimientos, los cuales también pueden producir daños completos o deterioros en infraestructuras de cualquier tipo. Los tipos de movimiento en masa de clasifican de la siguiente manera.

### **1.5.1 Deslizamientos**

Son movimientos que se dan en laderas y taludes, y se caracterizan por desarrollar una o varias superficies de rupturas, donde se encuentran la zona de deslizamiento y la de recolección de material desplazado. Para Vargas (2000) los deslizamientos se clasifican según la forma de la superficie de falla mediante la cual se desplaza el material.

#### **1.5.1.1 Delizamiento rotacional**

Se desarrolla sobre una superficie de falla cuya forma es curva, donde le movimiento del material provoca que se desarrollen áreas superiores en la que se puede producir el hundimiento y otra inferior de delizamiento. Este mecanismo se da en rocas muy poco resistentes y material frágil.

#### **1.5.1.2 Delizamiento traslacional**

Se desarrolla a lo largo de una superficie que puede ser plana u ondulada. Es un movimiento superficial a diferencia de los deslizamientos rotacionales, y se controlan por superficies que poseen alguna falla o debilidad debido a su estructura o estratificación y zonas con cambios producidos por estados de meteorización. En muchos de estos delizamientos la masa se deforma y tiende a convertirse en flujo (Suárez, 1998).

### **1.5.2 Flujos**

Se trata de un movimiento de masa que se caracteriza por el movimiento de material litológico de textura fina y gruesa que suele desplazarse en una superficie de falla o más bien a lo largo de ella y que es bien definida. Su comportamiento es similar

al de un fluido con una velocidad rápida o lenta y, a su vez, puede ser saturada o seca; sin embargo, se dan generalmente con la saturación de materiales subsuperficial.

A los flujos se les asocia comunmente con el movimiento de lodos, no obstante, también pueden transportar material rocoso como bloques de gran tamaño, árboles, arbustos, entre otros. A todo esto se lo conoce como flujo de rocas o detritos, los cuales ocurren por lo general en zonas de rocas muy fracturadas a lo largo de drenajes de alta pendiente (Vargas, 2000).

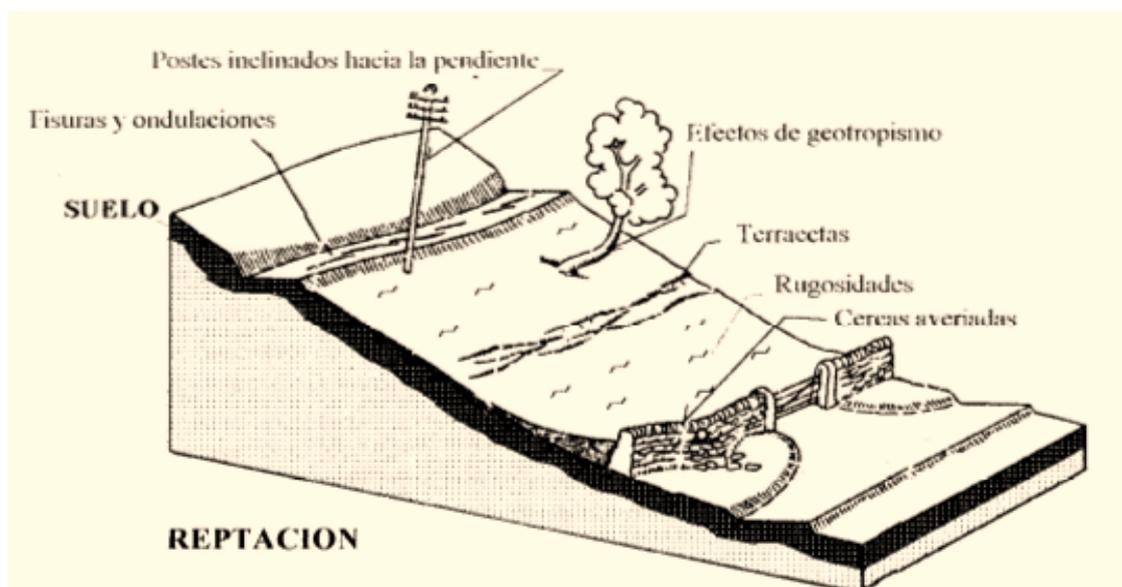
### 1.5.3 Reptación

Es la imperfección que atraviesa la masa del suelo o roca como resultado de tendencias muy lentos a causa de la gravedad. La reptación suele ser de tipo estacional cuando se relaciona con cambios climáticos, humedad del terreno y desplazamiento continuo del suelo en el tiempo (Sistema Nacional de Información, 2011).

Este tipo de movimiento no suele presentar ninguna superficie considerada de ruptura, sin embargo, en el terreno se pueden evidenciar diferentes características que permiten su detección, como la rugosidad del suelo, desplazamientos de cercas, suelo levemente ondulado y abombamientos locales; además, Suarez (2000) indicó que la evidencia de deslizamiento incluye la inclinación de postes y cercas, o la flexión o curvación de los troncos de árboles y arbustos.

#### Figura 11

*Fenómeno de reptación*



**Fuente:** Vargas (2000).

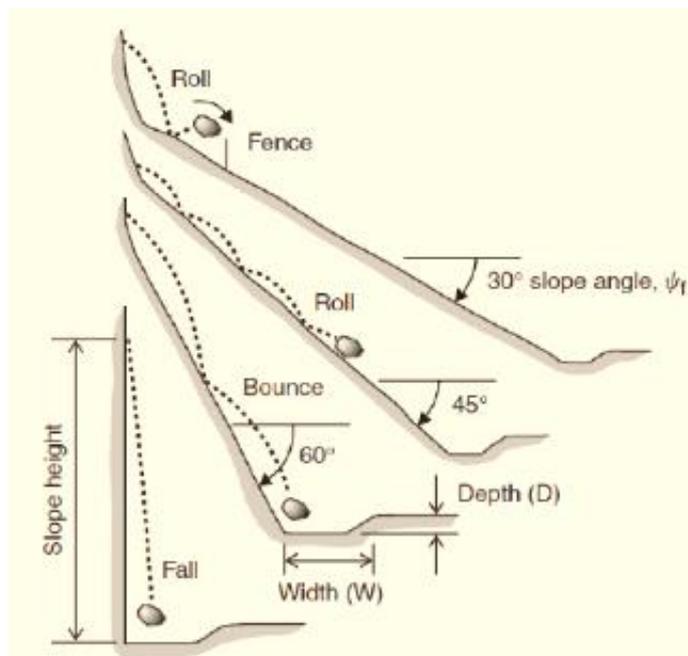
### 1.5.4 Caídas

Es un tipo de movimiento de masa en el que uno o varios bloques de roca se sueltan de una ladera a lo largo de una superficie en la cual existe muy poco desplazamiento de corte. Una vez que el material se desprende, este se precipita por el aire en caída libre, rebotando o rodando a velocidades considerablemente rápidas para provocar siniestros.

Según Suarez (2000), los eventos de caída de rocas pueden ser causados por una variedad de razones, a saber: aumento de la presión intersticial en las juntas debido a la lluvia, cambios de temperatura, descomposición química de las rocas en climas tropicales húmedos, crecimiento de raíces en las juntas, viento, construcción o voladuras, actividad vibratoria y movimiento de la tierra. La actividad de construcción aumenta en gran medida la posibilidad de que se caigan rocas del macizo rocoso.

**Figura 12**

*Modelos de trayectorias de caídas de rocas de acuerdo con la inclinación del talud*



**Fuente:** Bar et al., (2016).

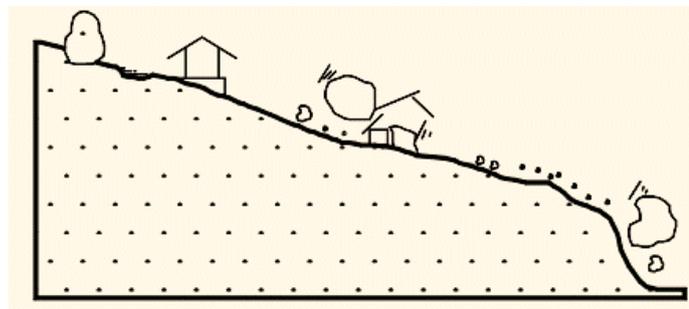
La Figura 9 muestra cómo suele comportarse el desprendimiento según la variación de la pendiente del talud. En taludes cercanos a los 90 grados se puede

observar cómo el material rocoso termina su recorrido muy cerca del pie del talud y viajan en caída libre sin ningún impedimento, mientras que para ángulos de 60 grados los bloques tienden a dar varios saltos. Para pendientes de entre 30 a 45 grados los bloques normalmente ruedan.

A su vez, estos movimientos pueden causar afectaciones parciales o totales en la infraestructura de la zona afectada por caída de rocas, como es el caso de las comunidades asentadas en el cerro San Eduardo.

### Figura 13

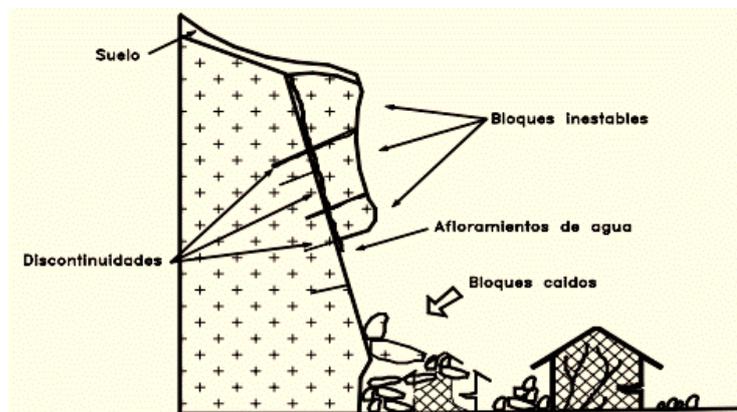
*Caída de bloques rodando*



Fuente: Suarez (1998).

### Figura 14

*Caídas de bloques por gravedad en roca fracturada*



Fuente: Suarez (1998).

## **1.6 Mecánica de caída de rocas**

El desprendimiento y posterior caída de rocas se ocasiona inicialmente por el efecto de agentes ambientales, sismos y factores antrópicos que inciden negativamente en las fuerzas iniciales que actúan sobre el material rocoso. Este cambio en las características externas que actúan en la roca ocasiona un aumento en la presión de poros por infiltración de líquidos, erosión en los materiales, meteorización física y química en las rocas, entre otros factores que afectan la resistencia de los taludes rocosos.

Entre las características importantes del talud se encuentra la geometría de este, puesto que esta proporciona el ángulo de inclinación y la superficie donde van a caer los bloques desprendidos, para de esa manera poder estimar datos como la trayectoria y la velocidad que tendrá la roca que está en movimiento, tal como se precisó en la Figura 5.

De estas características se puede describir a la superficie como una de las más importantes del talud, debido a que de su topografía y suelo depende el tiempo con el que el material desprendido impacte en una zona determinada. Para superficies duras, inalteradas y limpias la capacidad de retardo de una pendiente tiende a ser nula, por lo cual el nivel de amenaza será mayor. Sin embargo, las superficies con algún tipo de recubrimiento dan una mayor garantía y una reducción en el nivel de amenaza, porque todos estos obstáculos permiten que la roca en caída llegue con menor energía a su destino. Así mismo, el tamaño de la roca también es un factor muy importante, puesto que Geber (2001) expresó que una roca debe poseer un diámetro menor a 50 cm, así como un bloque debe tener un diámetro mayor a 50 cm.

### **1.6.1 Mecanismos de falla en taludes de roca**

La forma en la que falla un macizo rocoso se encuentra condicionado por varios factores que lo afectan, entre ellos está la orientación, el grado de facturación de la roca y la forma en la que se distribuyen las discontinuidades. Todos estos factores provocan que la estabilidad del talud rocoso quede definida por los daños que ha sufrido, lo cual provoca su inestabilidad según la escala de las suspensiones del macizo

rocoso, donde se pueden producir fallas localizadas en pequeños volúmenes de material, o grandes fallas que afecten la totalidad del talud.

De acuerdo con Gonzáles de Vallejo et al., (2002), el impacto del bloque de matriz de roca en el comportamiento general del bloque dependerá más o menos de la naturaleza relativa de los dos componentes, el número, naturaleza y carácter de las discontinuidades y el tamaño o extensión del trabajo que se está considerando. Por ejemplo, en un macizo rocoso formado a partir de un macizo rocoso duro, con propiedades de alta resistencia, la discontinuidad será la que controle el proceso de fragmentación y deformación, mientras que, en un macizo articulado con matriz de roca blanda, la diferencia de comportamiento no será la misma.

Con el fin de evaluar estos aspectos para consideración de ingeniería o diseño estructural, se hace necesario considerar sus dimensiones en relación con la separación entre la estructura del macizo rocoso y las discontinuidades. El concepto mencionado solo fortalece más la idea del comportamiento de los macizos rocosos y de todos los factores que le afectan, hace referencia a la importancia que estos tienen en su desarrollo.

Ahora, una vez que se conocen los eventos que inciden en la salud de un talud rocoso, es fundamental saber de igual manera las recomendaciones que se pueden obtener para su análisis e identificación de falla. En este sentido, Suarez (2000) mencionó lo siguiente:

- Identificar los grupos de articulaciones más "importantes" y evaluar su valor relativo dentro de la familia de articulaciones en función de la posibilidad de que se genere un determinado movimiento.
- Por cada grupo, determinar su orientación, inclinación, la forma en la que se esparce, durabilidad, apertura, resistencia que posee al corte, entre otros.
- Investigar las diversas posibilidades de falla a través del bloque espacial.
- Realizar un análisis de estabilidad para cada bloque identificado.

Luego de esto es indispensable determinar y definir todos los tipos de falla que pueden afectar al macizo rocoso logra que este se fracture, para lo cual Suarez (2000) desarrolló el siguiente cuadro:

**Tabla 2.**

*Modos de falla de macizos de roca fracturada*

Grado de Susceptibilidad	Criterio	Observaciones
Planar	Discontinuidad buza hacia la fachada del talud con un buzamiento mayor que el ángulo de fricción de la discontinuidad.	Al desconfinar lateralmente un macizo puede desplazarse una masa de roca sobre una discontinuidad.
Cuña	La línea de intersección de dos discontinuidades buza hacia la fachada del talud, con un buzamiento significativamente mayor que el ángulo de fricción de las discontinuidades.	Generalmente, son movimientos muy peligrosos, debido a que las superficies de deslizamiento poseen altas pendientes.
Circular	La roca es blanda o extremadamente fracturada.	Cuando el patrón de discontinuidades es aleatorio (no hay familias), las fallas son muy parecidas a las de un talud en suelo.
Inclinación	Bloques esbeltos tabulares columnares formados por discontinuidades de alta pendiente con discontinuidades basales, con un buzamiento menor que el ángulo de fricción de la discontinuidad.	Generalmente, requiere de tres sets de discontinuidades orientadas en tal forma que los bloques que se forman se encuentran semiparalelos a la fachada del talud.
Flexión	Grupos de discontinuidades de alta pendiente con espaciamentos muy cercanos.	Con frecuencia se produce un movimiento gradual a una distancia de hasta cinco veces la altura del talud.
Caído	Bloques sueltos que pueden volcarse o deslizarse por caída libre a saltos o rodando.	Se pueden predecir las trayectorias de los bloques, utilizando programas de software.

**Fuente:** Suarez (2000).

### 1.6.1.1 Falla planar

Esta hace referencia a un tipo de falla que se ocasiona por el deslizamiento de la roca sobre una suspensión, dándose el movimiento del material sobre una superficie plana. El tipo de falla posee un mecanismo traslacional y rotacional a lo largo de superficies que son débiles estructuralmente, donde la resistencia que posee al cortante es muy inferior y existe el riesgo de que se presente un desplazamiento.

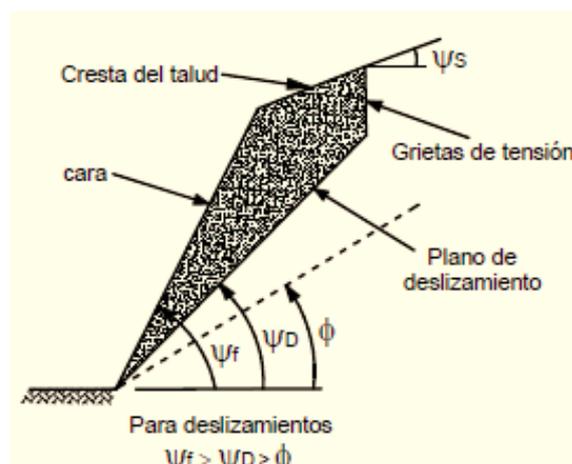
En torno a cómo se desarrolla el mecanismo, sumado al paso del tiempo; el talud pierde la resistencia al corte de manera progresiva por factores como la

meteorización, aumento de presiones de poros y grietas producidos por eventos sísmicos o desplazamientos. También es relevante mencionar que el riesgo de ocurrencia de esta falla es mayor en lugares donde se dieron deformaciones por fallas o superficies de antiguos deslizamientos.

Existen dos condiciones identificadas como básicas para que se dé este mecanismo de falla: la evidencia de suspensiones con un buzamiento a favor del talud y que la falla sea suficientemente larga.

### Figura 15

*Esquema de una falla planar*



**Fuente:** Suarez (2000).

En esta línea, Suarez (2000) describió las condiciones básicas para la ocurrencia de una falla planar:

- La dirección del plano discontinuo donde se produce el deslizamiento debe ser aproximadamente paralela a la superficie inclinada, con un margen de  $\pm 20^\circ$  con respecto a la pendiente de la superficie.
- El contorno o límite lateral de la superficie por deslizar debe tener muy poca resistencia.
- El movimiento del macizo rocoso no debe presentar una resistencia lateral evidente.
- La superficie de deslizamiento debe emerger de la superficie inclinada.

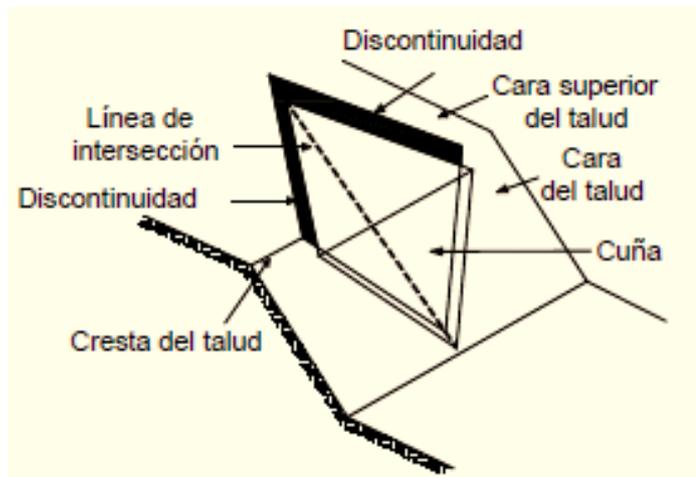
- El ángulo de inclinación de la superficie deslizante debe ser considerado mayor que el ángulo en torno a la fricción que se ejerce en la superficie.
- La cabeza o la parte superior de la canaleta se debe encontrar con la pendiente.

### 1.6.1.2 Falla en cuña

Se refiere al deslizamiento que se genera con un bloque en forma de cuña, compuesto por dos planos de discontinuidad que favorece a su línea de intersección (González de Vallejo et al., 2002). Este tipo de falla puede ocurrir aun cuando los dos planos de discontinuidades sean estables.

**Figura 16**

*Esquema de una falla en cuña*



**Fuente:** Suarez (2000).

Para la ocurrencia de esta falla se deben de cumplir condiciones específicas, tales como las que expuso Suarez (2000):

- La parte mínima de la intersección de los dos planos en forma de cuña debe estar al ras con la pendiente y más alta que el pie de la pendiente.

- La parte superior de la línea de intersección, que se da considerando los dos planos, debe encontrarse con el talud en su cabecera, por encima del talud, o terminar con una fisura de tensión.
- La inclinación de las líneas que se cruzan debe exceder el ángulo de fricción de las dos superficies deslizantes. El esfuerzo cortante debe vencer la resistencia combinada de los dos planos que forman la cuña.

### **1.6.1.3 Fallas por inclinación o volteo**

Se le describe como una rotación hacia delante de uno o varios elementos de material rocoso llegando a provocar que estos se inclinen como resultado de la acción de la gravedad. Se generan donde los estratos muestran buzamiento en sentido contrario a la inclinación del talud y dirección equivalente a este (González de Vallejo et al., 2002).

La falla de volteo, también conocida como *toppling*, termina actuando con la formación de un sistema de fracturas que se crea y se extiende a medida del paso del tiempo en la base de los bloques volteados. A su vez, esta superficie provoca que sean más propensas las fallas de tipo planar o rotacional.

Son varios los motivos por los cuales se producen volcamientos en los taludes de roca, tal como lo indicó Suarez (2000), las grietas definen el carácter del desplazamiento en los desprendimientos de piedras. En las pendientes del suelo, las grietas por tensión, la cohesión del material, y la elevación y la pendiente determinan el volumen de masa, el tamaño del desplazamiento y la posibilidad de colapso, caída o flujo.

En ese sentido, es importante señalar que este tipo de falla provoca los caídos de rocas, como se puede observar en la Figura 12, el volteo excesivo ocasiona que los bloques se desprendan y caiga material rocoso.

**Figura 17**

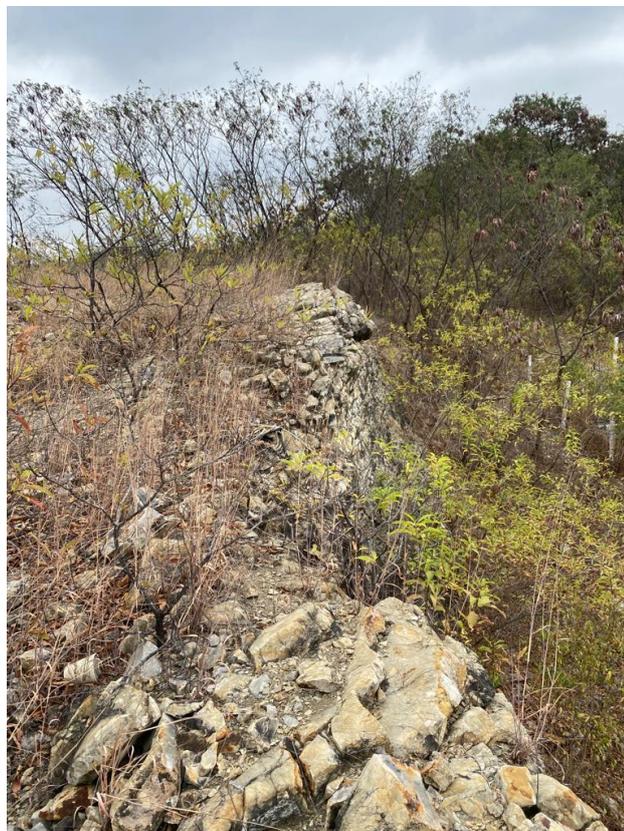
*Esquema de falla de tipo volteo en un macizo rocoso*



**Fuente:** Suarez (2000).

**Figura 18**

*Inclinación del macizo rocoso en la zona alta de cerro San Eduardo (zona 1)*



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **1.6.1.4 Falla por pandeo**

También conocido como *buckling*, se crea una vez que el buzamiento de las discontinuidades es igual o preeminente al buzamiento del talud natural. La rotura del macizo puede suceder con o sin flexión del estrato, la exclusiva condición elemental consiste en que los estratos poseen esbeltez relacionada con la elevación del talud para que se logre generar el pandeo.

Existen muchas causas que pueden provocar las fallas por pandeo. Según Gonzáles de Vallejo (2002) estas son las siguientes:

- La pendiente es muy elevada.
- La presencia de fuerzas externas ejercidas sobre la formación.
- La geometría de la formación es desfavorable.
- Hay presión de agua sobre la formación.
- Concentración de tensiones desfavorable.

#### **1.6.2 Factores que favorecen la falla del cerro y la caída de rocas**

##### **1.6.2.1 Factores detonantes**

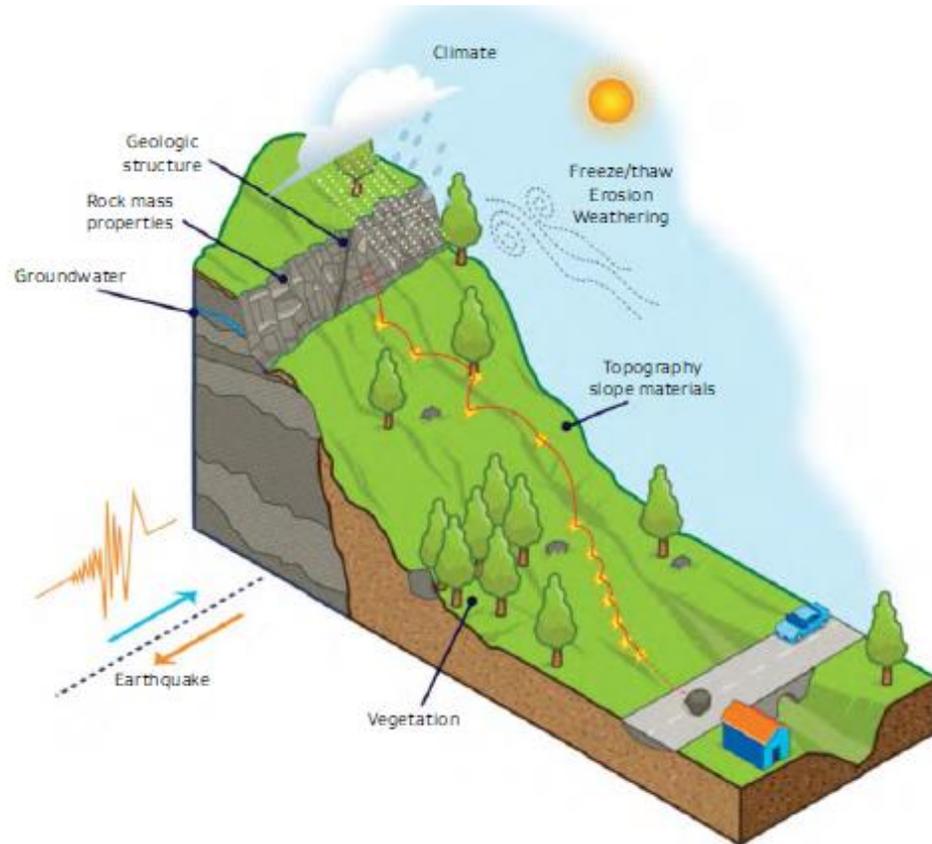
La activación de los movimientos en taludes no ocurre de manera inesperada. Son una serie larga y compleja de procesos que junto a otros nuevos o anteriores producen la falla, que por lo general es el aumento en el esfuerzo cortante a lo largo de una superficie de falla, lo cual ayuda a que suceda el movimiento.

No obstante, según Suárez (2000) existen elementos externos, que usualmente producen una activación de sucesos:

- Corte de los apoyos de los pies debido a la erosión o la actividad humana (por ejemplo, la construcción de carreteras).
- Lluvias fuertes o prolongadas, o fluctuaciones severas en los niveles de agua subterránea.
- Fuerte terremoto o vibración.
- Coloque la carga en la pendiente.
- Combina algunos de los elementos anteriores.

## Figura 19

*Factores que influyen en la caída de rocas*



**Fuente:** Green (2016).

### 1.6.2.2 Tectónica y sismicidad

Como se explicó anteriormente en este capítulo, Ecuador se encuentra ubicado en la zona de subducción de la placa Nazca y la placa continental conocida como Sudamericana, lo cual produce que la ciudad de Guayaquil sea una zona donde se presenten varios sismos que, sumados a la presencia de la cordillera submarina de Carnegie que impacta contra la zona de subducción entre las dos placas mencionadas, provocan un efecto negativo sobre formaciones rocosas como el del cerro San Eduardo. De acuerdo con Nocquet et al., (2012), después de que la placa de Nazca se subdujo por debajo del borde ecuatoriano, se bloqueó parte de la interfaz placa-borde de Nazca. Esta región acumula esfuerzo cortante que incrementa con el tiempo y representa el mecanismo entre terremotos. Cuando la tensión supera un cierto umbral, comienza el deslizamiento y se produce un sismo.

A su vez, cabe definir que el tectonismo produce efectos como las fallas y la fracturación, que de la mano con las discontinuidades en las rocas producen deslizamientos, y la posibilidad de que el material rocoso se vea afectado por otros factores como la presión de poros, producto del agua que ingresa por las grietas y que, a su vez, lleva a la meteorización.

De igual manera, la sismicidad en zonas montañosas es muy elevada, debido al origen sísmico a causa del origen tectónico y volcánico, por lo tanto, los movimientos telúricos pueden activar deslizamientos y caídas de material rocoso. Como precisaron Grosic et al., (2009) los desprendimientos de rocas suelen iniciar generalmente por algún evento climático o biológico, pero también podría ser por una actividad sísmica como un terremoto o influencia explosiva. En caso de sismo existe un aumento exponencial de factores que favorecen el movimiento, a saber, el aumento del esfuerzo cortante, de presión de poros y deformación (Suárez, 2000).

### **1.6.2.3 Estado de meteorización**

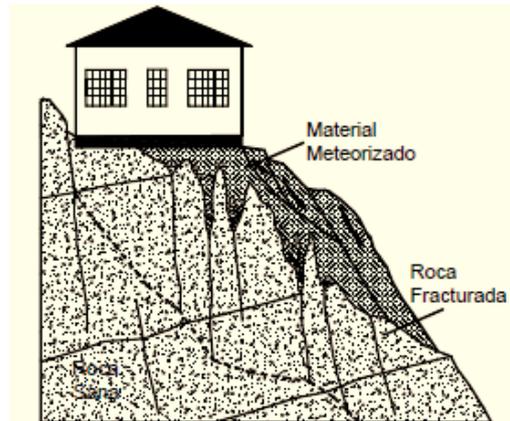
En concordancia con Anon (1995), la meteorización se basa en el proceso a través del cual se alteran y separan las rocas, así como los diversos materiales que posee el suelo. Suele producirse gracias a la descomposición de los químicos existentes por la desintegración física. Guayaquil se caracteriza por poseer un clima tropical, con altas temperaturas y lluvias intensas durante los primeros meses del año, lo que representa condiciones para que exista meteorización física y química, tal como lo mencionaron Gonzáles de Vallejo et al., (2002), en climas tropicales-húmedos los cambios en el macizo rocoso producen espesores de suelo de hasta 20 o 30 m.

Por un lado, la meteorización química se fundamenta en la existencia de agua en la roca, debido a que este líquido causa la aparición de feldespatos y ferromagnesianos conocidos como minerales, la concentración de óxidos de hierro y aluminio, y la remoción de sílice, lo que permite una descomposición instantánea (Suárez, 2000). Por otro lado, la meteorización física provoca la desintegración de la masa rocosa gracias al proceso de erosión, procesos tectónicos y sísmicos. Estos factores producen grietas y fracturas en el talud rocoso, lo cual facilita la caída de

bloques de roca como sucede en la formación Cayo del cerro San Eduardo que tiene material altamente erosivo.

**Figura 20**

*Efectos de la meteorización en lugares poblados*



**Fuente:** Suárez (2000).

**Figura 21**

*Ubicación precaria de una vivienda sobre un macizo de roca meteorizada (zona 1)*



**Fuente:** Elaboración propia.

## Figura 22

*Vivienda asentada sobre roca afectada por la meteorización (zona 2)*



**Fuente:** Elaboración propia.

### 1.6.2.4 Pendiente y relieve

Acerca de la pendiente de un talud, Suárez (2000) indicó que a medida que aumenta la pendiente, por lo general también incrementa la fuerza que trata de desestabilizar la pendiente, mientras que el factor de seguridad de deslizamiento disminuye. Las pendientes pronunciadas son propensas a desniveles, cascadas y deslizamientos de tierra. Así mismo, el factor de la forma cóncava de la superficie es determinante en la caída rocas, dado que al aumentar la pendiente se crea un esfuerzo que trata de deslizar el bloque.

### **Figura 23**

*Pendiente de las viviendas ubicadas en la zona más alta del cerro (zona 2)*



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **1.6.2.5 Efectos del agua**

El agua afecta la estabilidad de los taludes y la condición de las rocas de diversas formas, por tal motivo es fundamental determinar de dónde proviene y cuáles son sus efectos. El clima y las precipitaciones que se producen juegan un papel muy relevante en los procesos de meteorización física y química, por ejemplo, el goteo de lluvia produce erosión por el impacto de las gotas en zonas desprotegidas del talud, lo cual ocasiona el desprendimiento de capas delgadas del material.

Según Suarez (2000) con una lluvia intensa se pueden eliminar hasta 50 metros cúbicos de suelo por hectárea en suelos sin fitosanitarios. Así pues, es importante añadir que todo este material desprendido del suelo, permite que el agua empiece a

infiltrarse en el suelo y forme una capa delgada de agua casi imperceptible, pero que con el tiempo aumenta su volumen.

Algunos efectos adicionales muy significativos en la condición del talud son el aumento del peso del suelo, la disolución, la erosión interna y la presión de poros. La erosión interna hace posible que el agua se infiltre a través de los poros de las rocas, lo cual puede producir un aumento en la presión de poros.

Uno de los causantes de la infiltración del agua en el suelo es la presencia de los asentamientos humanos no regulados que se encuentran en la zona, puesto que como indicó Suárez (2000), principalmente, el crecimiento de la presión intersticial se asocia con la ocurrencia de lluvias, empero en varios casos ocurre gracias a la infiltración de procesos antropogénicos. Constantemente estos asentamientos desechan sus líquidos en el suelo no tratado del talud; lo cual provoca un aumento acelerado del deterioro y, además, el hecho de que se presente la desforestación como medida para ubicar viviendas, también influye de gran manera en la salud del talud.

#### **1.6.2.6 Procesos antrópicos**

La huella del ser humano puede causar severos daños (muchas veces irreparables) a la estabilidad de un talud. En la zona donde se asientan las comunidades del cerro San Eduardo, los procesos de urbanización planificada y no planificada provocaron una aceleración en el desarrollo de laderas susceptibles a deslizamientos y caídas de rocas.

Esta urbanización trae consigo procesos humanos como rellenos, cortes, desforestación y presencia de aguas lluvias y aguas servidas, los cuales influyen de manera exponencial en la inestabilidad del talud. Suárez (2000) señaló que el desarrollo aumentó la amenaza de deslizamientos de tierra ocasionados por lluvias y temblores. Existe una interacción entre la ocurrencia de deslizamientos y la rapidez del proceso de urbanización, en especial el desarrollo desordenado. Lo que indicó Suarez se puede relacionar con las comunidades y cooperativas del cerro, debido a la naturaleza de su asentamiento ubicado a media ladera, la cual incrementa el riesgo de accidentes.

Adicionalmente, el mismo autor señaló otras condiciones y cambios con respecto a la hidrogeología en zonas urbanas ubicadas en laderas:

- Elimine las áreas boscosas o con vegetación y reemplácelas con áreas duras y edificios.
- Adecuar el suelo a los cambios topográficos de la urbanización.
- Canaliza el agua a través de pavimentos, cunetas y alcantarillas, lo que reduce la rugosidad, inhibe la infiltración y la evaporación, aumenta la velocidad del flujo y disminuye el tiempo de concentración.
- Incremento del flujo de agua del acueducto desde otras cuencas.
- El agua se transporta de una microcuenca a otra por medio de un sistema de alcantarillado.

### **1.6.3 Movimiento posfalla**

Una vez ocurre la falla se presentan movimientos posteriores de masa y elementos. Cuando se da un deslizamiento producto de una falla o algún acontecimiento antrópico, hay material fallado que se desplaza mediante el talud realizando diferentes clases de movimientos a través de varios mecanismos, hasta que finalmente se detiene el movimiento.

Sin embargo, luego de que el material fallado se detiene y se deposita en alguna zona del macizo, existe aún la posibilidad de que el movimiento pueda reactivarse e inducir a una nueva falla y mecanismo. Para determinar las etapas del producto de la falla, que implica caída material, es necesario involucrar la energía, debido a que atraviesa varios escenarios que determinan su comportamiento.

Cuando se produce la falla y el material está a punto de desprenderse, tiene lugar la energía potencial que está determinada por las propiedades geométricas y ubicación del talud. Esta energía potencial está presente antes de que se produzca la caída de rocas y se convierte en energía cinética cuando el caído y los detritos empiezan su trayectoria con una aceleración (Suárez, 2000). En este sentido, es importante mencionar que cuando el caído se deposita vuelve retoma nuevamente la energía potencial.

#### 1.6.4 Caídos de rocas

En la presente investigación se mencionaron los diversos motivos por los que suceden eventos de caídas de rocas, los cuales están asociados con factores como la incidencia del clima, procesos de fallas anteriores y el efecto antrópico. De manera más descriptiva, los caídos se dan por el aumento de la presión de poros, la meteorización física y química, los componentes de deforestación y la sismicidad que posea el área de análisis (alta en la situación de Guayaquil).

La caída de rocas y bloques trae consigo un comportamiento característico en referencia al modo en que se precipitan; ya sea en caída libre, rodando, rebotando, deslizándose, o incluso una combinación de todos estos movimientos. Todo esto representa una fuerte amenaza para carreteras y las infraestructuras cerca del lugar, en especial para asentamientos humanos que se ubican en las laderas inestables de los cerros afectados. Según Green (2016) se puede definir la caída de rocas y sus características de la siguiente manera:

- Un movimiento de pendiente muy rápido en el que el lecho rocoso ocasiona que el material se desprenda de una pendiente pronunciada y descienda al caer, rebotar, rodar o deslizarse.
- Puede involucrar desde partículas del tamaño de la grava, hasta grandes masas rocosas.
- Se relaciona con la caída de rocas individuales o varios bloques, en los que hay poca interacción entre los bloques individuales.

Estos son los motivos por los que existen diversos tipos de soluciones contra la caída de material de roca, con el fin de salvaguardar las vidas humanas y los recursos que posee una zona poblada. Dentro de estas soluciones o sistemas para controlar, reducir y prevenir la caída de rocas se encuentran los mecanismos activos y pasivos.

Por un lado, las soluciones de tipo activas se utilizan directamente en el área del desprendimiento, donde los niveles de riesgo son muy bajos y no hay suficiente espacio para el uso de barreras dinámicas. Entre los mecanismos activos están las mallas, los pernos los anclajes, entre otros.

Por otro lado, las soluciones de tipo pasivas se utilizan en lugares más distantes del desprendimiento y actúan una vez se efectúa el desprendimiento. El riesgo de este tipo de soluciones radica en la cantidad de energía que posee el material desprendido cuando impacta contra el mecanismo pasivo, lo cual puede causarle daños. En este caso se encuentran los siguientes mecanismos: barreras estáticas, barreras dinámicas, zanjas, muros, entre otros.

### **1.6.5 Flujo de detritos**

Los flujos de detritos son un fenómeno presente en la zona del cerro San Eduardo, debido a que, al poseer material rocoso meteorizado, este se desprende con mayor facilidad y provoca su caída por medio de factores que agudizan esta problemática como las lluvias y los cursos de agua que están en la zona. Estos flujos no solo desprenden roca, sino que también llevan consigo elementos de la zona como basura, ramas de árboles, lodo y otros. El efecto negativo que producen los flujos de detritos es tan significativo que, según Sepulveda et al., (2016), Los flujos de escombros son uno de los procesos de supresión a enorme escala más destructivos de todo el mundo, puesto que emergen en las montañas y se depositan en abanicos o llanuras aluviales ocupadas por asentamientos humanos.

### **1.7 Métodos y sistemas para reducir y controlar la caída de rocas**

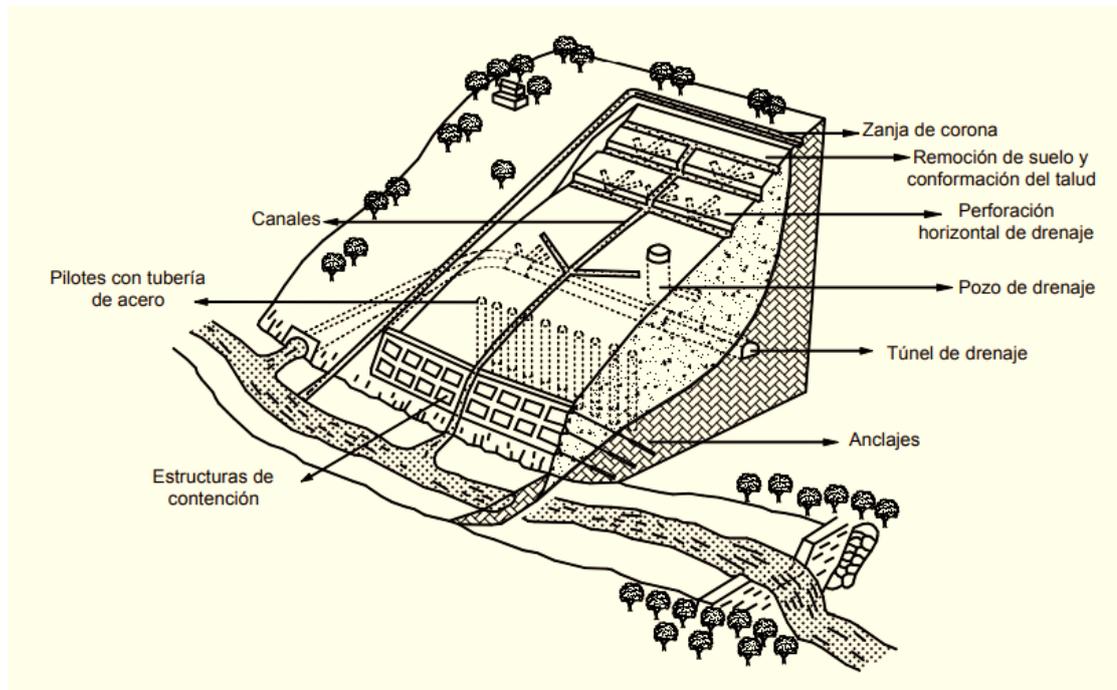
El desarrollo de tecnologías para controlar caídas de rocas cambió las ideas de diseño y mantenimiento para taludes de roca, los cuales afectan mediante el desprendimiento de estas. Estos acontecimientos han sido de vital importancia para el tratamiento de obras civiles en ambientes propensos a caídas de rocas, por lo cual se realizan estudios detallados de la geografía con el objetivo proteger la inversión de las zonas involucradas.

Una vez se identifican los problemas de estabilidad de taludes rocosos en las diversas obras de ingeniería civil, se presentan múltiples opciones que brindan seguridad y condiciones óptimas, tales como: la estabilidad de taludes y la protección contra la caída de rocas. No obstante, la presencia de zonas de difícil acceso provoca

que ciertas soluciones no sean factibles debido a la topografía del terreno o a la presencia de costos elevados que podrían incurrir en pérdidas.

### Figura 24

*Técnicas de remediación ante amenaza de deslizamientos*



**Fuente:** Suárez et al., (2000).

#### 1.7.1 Estabilización de taludes rocosos

La estabilización de taludes tiene como objetivo generar una obstrucción y reducción en el movimiento de masa y bloques de rocas. Además, es útil como medida preventiva, pues ayuda a disminuir los distintos procesos de deterioro del macizo donde se producen rocas blandas y descompuestas que aumentan las posibilidades de desprendimientos.

Para realizar una estabilización de un talud se pueden emplear varios métodos tales como la construcción de obras de drenaje, la implementación de elementos estructurales y la consolidación de la superficie del talud. No obstante, para llegar a realizar alguna de estas medidas de estabilización es importante llevar a cabo un previo

análisis del macizo rocoso para así estimar la efectividad del método empleado y tomar en cuenta la seguridad que exige cada talud con base en las características morfológicas, de frecuencia y severidad, con el fin de enfocarse en la utilización de una solución específica o la combinación de varios.

### **1.7.2 Limpieza y saneo**

La limpieza y saneo es una medida preparatoria que se emplea en primeras instancias en el talud rocoso al cual se le desea aplicar alguna medida para estabilizarlo y protegerlo. Consta de acceder al talud y determinar qué zonas están afectadas a través de la detección de fragmentos de roca o bloques inestables. Todo esto con el objetivo de hacerlos caer mediante una operación controlada, y que este suceso no se dé de manera inesperada. Cabe resaltar que este procedimiento es factible en zonas y terrenos no tan accidentados, así como en locaciones donde el desprendimiento de las rocas o bloques no afecten infraestructuras como carreteras o casas cercanas.

### **1.7.3 Variación de la pendiente del talud**

Para realizar la modificación de la pendiente de un talud es necesario llevar a cabo un análisis y definir tanto los niveles de riesgo y amenaza como el mecanismo de falla. Una vez se determinan los factores importantes se puede optar por cambiar la geometría del talud, siempre y cuando se garantice que ese talud modificado sea estable y que la operación no dé como resultado su deterioro o falla. Así mismo, se debe tener cuidado con la remoción del material, dado que esta acción puede desencadenar la aceleración de la descomposición de la roca.

Tanta es la importancia de la geometría de un talud que Martínez y Balaguer (1998) precisaron que la pendiente y la pendiente del lote son componentes que influyen en el desarrollo de los procesos de deslizamiento, pues contribuyen a la inestabilidad del material, de esta forma son fronteras que se usan sistemáticamente en la mayor parte de los procedimientos de cálculo de seguridad de taludes.

#### **1.7.4 Sistemas no aptos en el cerro San Eduardo**

Dentro de la ingeniería existe una amplia variedad de soluciones contra la caída de rocas, sin embargo, es necesario considerar las características más importantes de la zona antes de seleccionar un sistema óptimo que provea de protección a los moradores de las comunidades.

Entre estas características importantes se encuentra la topografía del terreno, el acceso a la zona de estudio y el costo económico que tendrá la implementación de la obra seleccionada, y dentro de estos parámetros existen varios sistemas convencionales que no cumplen los requerimientos necesarios para utilizarse, y que en muchos casos podría resultar incluso perjudicial.

##### **1.7.4.1 Voladura de contorno**

Uno de los métodos de excavación más frecuentes que se utiliza en taludes de roca es la implementación de explosivos. En la voladura de contorno se emplea una carga que llena un barreno, la cual crea una zona de compresión durante la explosión, que pulveriza y tritura la roca que conforman los bloques y las cuñas que tienden a representar un peligro de deslizamiento, así logra reducirlo. Tal como indicaron el Ministerio de Fomento y la Universidad de Cantabria (1996), la implementación de técnicas de voladura razonables permite el diseño y la construcción de sitios con pendientes más pronunciadas. La aplicación de estas tecnologías reduce el riesgo de derrumbes y disminuye el volumen de roca suelta colgante, lo que minimiza la necesidad y número de bermas y sistemas de sujeción (pernos, paredes).

Por el mismo lado, su implementación en el cerro San Eduardo no resultaría adecuada, puesto que no existe infraestructura para guardar todo el volumen de roca que se desaloje del cerro y, además, los ruidos y la onda expansiva de las detonaciones puede afectar la vida de los moradores del cerro.

##### **1.7.4.2 Mallas y redes**

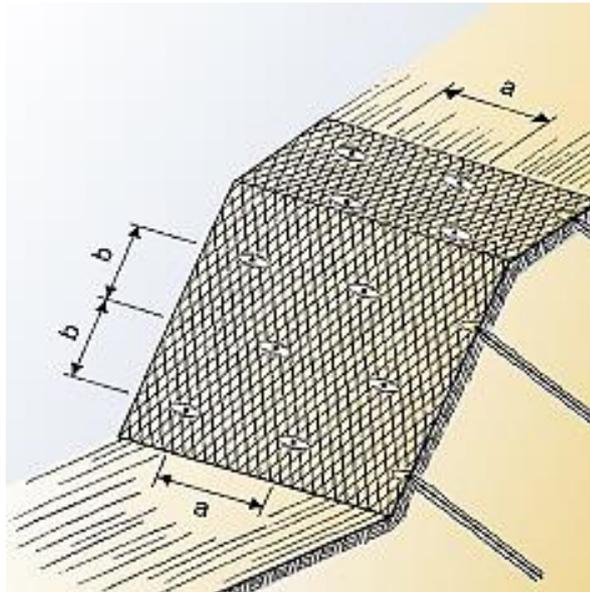
Las mallas y redes son una solución contra el desprendimiento de bloques y rocas. Se utiliza para brindarle estabilidad al terreno rocoso con el fin de evitar caídas

de material. Su metodología implica su aplicación sobre la cara del talud y conectada en varias posiciones a lo largo de este, el cual produce un efecto de soporte y la nivelación de las cargas que soporta el terreno, para que cuando se dé una caída de rocas el material rocoso no salte lejos del pie del talud.

Las mallas y redes se deben usar exclusivamente en situaciones en que este mecanismo quede en contacto directo con la superficie del talud, dado que su resistencia limitada puede afectarse por el desprendimiento de grandes bloques, por lo cual se opta por realizar varios puntos de anclaje.

### **Figura 25**

*Esquema de mallas del sistema TECCO*



**Fuente:** Geobrugg (2012).

#### **1.7.4.3 Anclajes**

Los anclajes son elementos que trabajan a tensión y evitan que los bloques de roca se deslicen por fallas o grietas. Este método consiste en poner una serie de soportes de acero en la masa rocosa y utilizar cables de acero debajo de la superficie de la falla. Su principal ventaja es que no requiere movimiento dentro del área de

trabajo hasta que el perno alcanza su máxima capacidad de carga, así reduce la aparición de fisuras y deformaciones en el sólido.

Sin embargo, para que este método sea efectivo se deben de tomar en cuenta varios factores como las características del macizo, la orientación de los anclajes y las características de la superficie de la falla en riesgo, lo que resulta muy elevado en costo en comparación con el uso de defensas dinámicas sucesivas que son de fácil instalación.

#### **1.7.4.4 Hormigón proyectado**

También se le conoce como hormigón proyectado y es un sistema que consiste en lanzar hormigón a través de una manguera con la finalidad de elaborar una espacie de muro sobre la superficie, el cual tendrá una mayor resistencia para poder soportar la presión que ejerce el suelo. Una de sus ventajas es que ofrece impermeabilización al terreno y a diferencia de los hormigones tradicionales, este no requiere compactación, por lo cual se puede adaptar a cualquier superficie.

En este orden de ideas, resulta importante mencionar que este método ya se empleó como medida para reducir la caída de roca a la altura de la Av. Modesto Apolo, donde se han suscitado varios eventos de desprendimientos que paralizaron el tráfico vehicular. Esta medida llega a cargo del municipio de Guayaquil, no obstante, la protección que brinda esta solución es muy superficial, por lo cual es posible que eventos de caídas de bloques se puedan suscitar si no se estabiliza el talud completamente.

#### **1.7.4.5 Muros**

Los muros son elementos estructurales que se emplean como método de defensa para evitar que los bloques de roca lleguen a un lugar determinado, así como para aumentar la estabilidad de la punta y permitir la interceptación de bloques grandes. Hay varios tipos de muros, por ejemplo, muros de contención y muros de alcancía.

A pesar de estas características y ventajas, la construcción de muros en la zona de desprendimiento (zona alta del cerro) resulta una tarea complicada debido al difícil acceso al cerro por sus vías angostas, lo cual imposibilita que las maquinarias pesadas lleguen al sector.

### **1.7.5 Sistemas de defensa pasivos**

Son sistemas contra la caída de rocas que permiten interceptar los bloques en algún punto de su trayectoria desde el lugar de desprendimiento, con lo que se puede salvaguardar la infraestructura protegida, debido a que está compuesto por una estructura que acumula el material sin producir inconvenientes en el sistema y brinda protección a zonas afectadas.

Ahora bien, el sistema de defensas pasivos actúa con la detención de las rocas, que se produce con la transformación de la energía cinética con la cual cae el material en trabajo de deformación en los elementos de las barreras. En cuanto a sus componentes y materiales, las defensas pasivas se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Rígidos: son aquellos que poseen poca o ninguna capacidad de deformación.
- Dinámicas: son las que pueden transformar la energía cinética, producida por el movimiento del material desprendido, en energía de deformación.

#### **1.7.5.1 Pantallas o defensas**

El propósito de la pantalla o defensa radica en interceptar bloques de roca a medida que se rompen y caen con trayectoria y energía cinética. Estos sistemas consisten en rejillas y cables soportados por vigas o columnas puestas en el suelo, donde la capacidad de absorción de energía depende de la resistencia mecánica de estos elementos que componen el conjunto de defensa, de sus propiedades tensión-deformación y de la estabilidad global de la pantalla.

En referencia a la ubicación de estos sistemas se pueden tomar varias consideraciones para tener en cuenta, las cuales expusieron el Ministerio de Fomento y la Universidad de Cantabria (1996):

- A medida que las rocas caen por la pendiente, ganan velocidad y energía para que las puedan interceptar lo más cerca posible de donde se espera que se origine la separación.
- En la mayoría de los casos, cuando el área exacta de separación no sea obvia, coloque el obstáculo donde se cierra la depresión para acortar la longitud de la pantalla, dado que es la trayectoria más probable de la roca.
- Si la pantalla se pone cerca del camino despejado, debe estar cerca de la parte superior de la pendiente.
- Cuando las condiciones del terreno lo requieren, las pantallas se ubican junto a carreteras o canales de comunicación, generalmente sobre muros de hormigón o gaviones.

En el mercado existe una variedad de sistemas de defensas de amortiguación, entre los cuales se encuentran los sistemas tradicionales, los cuales se emplean a través de postes metálicos empotrados en el suelo, a los que se les agrega una malla o cables de acero con poca o nula capacidad de deformación. Por otro lado, están los sistemas flexibles, que poseen mayor cantidad de deformación y permiten atrapar bloques de rocas desprendidos con un menor daño en la malla del mecanismo.

A su vez, también existe una clasificación en cuanto a la forma de trabajo entre las que se encuentran las siguientes:

**Defensas estáticas:** mayormente están compuestas por elementos rígidos que son capaces de soportar impactos de rocas de menor tamaño, debido a que su resistencia depende de la rigidez e inercia de sus partes.

**Defensas dinámicas:** a diferencia de las estáticas, el funcionamiento de las pantallas dinámicas se basa en la flexibilidad, capacidad de absorber energía cinética y la deformación en las mallas. Por ejemplo, son capaces de soportar rocas de 250 kg con una absorción de energía de 100 kJ, lo cual lo convierte en una gran alternativa para salvaguardar infraestructura en zonas de caída de material rocoso.

### **1.7.5.1.1 Defensas estáticas**

Las defensas estáticas son indicadas para soportar impactos de bloques de roca y materiales de tamaño reducido con la utilización de elementos rígidos y de gran inercia. Este sistema es adecuado en lugares con poco riesgo de desprendimiento o bien, de desprendimientos en períodos constantes, pero pequeños. Se construyen con base en una estructura de acero, cable y malla de triple torsión.

En general, todas las defensas que frenen la trayectoria del movimiento de las rocas cumplen con la función de proveer seguridad, sin embargo, el detalle consiste en el correcto balance la energía cinética que posee el material al momento del impacto y la capacidad del sistema de soportar el choque sin presentar fallas. Por consiguiente, en la medida que el elemento que resiste el impacto sea más rígido, la reacción que produce el mecanismo se aumenta para ejecutar una fuerza de la misma magnitud, pero con un desplazamiento menor.

No obstante, pese a que una gran rigidez en un elemento se puede percibir como algo positivo, también se pueden presentar varias insuficiencias como lo mencionaron el Ministerio de Fomento y la Universidad de Cantabria (1996):

1. Las fuerzas de reacción, ante el impacto de las rocas se acrecienta sustancialmente, lo que obliga a la utilización de los elementos de mayor sección y calidad, y, por ende, de mayor coste.
2. La baja capacidad de deformación de los elementos rígidos distribuye muy poco los esfuerzos entre los diferentes elementos de la pantalla, lo que produce fallos locales por concentración de tensiones y, en consecuencia, una baja eficiencia del trabajo de la estructura construida.
3. Escasa capacidad de absorción de energía en comparación con la sección de sus elementos componentes.

Los fallos en estos tipos de sistemas pueden ser muy perjudiciales no solo en cuanto al propósito de la defensa, sino en las constantes reparaciones que estos mecanismos tendrían que afrontar, lo cual representaría un mayor costo por el uso de materiales de mejor calidad (como se mencionó en el numeral 1) y las frecuentes reparaciones que también incurrirían en costos adicionales.

### 1.7.5.1.2 Defensas dinámicas

La caída de bloques y rocas representa una problemática, por lo cual la implementación de defensas dinámica equivale a una solución viable. Según Green (2016) las barreras flexibles o cercas de red contra desprendimiento de rocas (cercas) son estructuras ligeras que actúan para contener el desprendimiento de rocas, deformándose hacia abajo y disipando la energía de la roca que cae. Estas características de las defensas dinámicas permiten que, se disminuya la velocidad del material rocoso desprendido al disipar la energía.

Sin embargo, para el correcto funcionamiento de este sistema de defensas dinámicas es necesario cumplir con varios parámetros de diseño como el ángulo con respecto a la vertical en la que se ubique la malla, la elongación de los cables de acero, la dimensión y trayectoria estimada del bloque que la impactará, la estabilidad general del sistema, entre otros.

#### Figura 26

*Ubicación de una defensa dinámica*



**Fuente:** “Rockfall: Design considerations for passive protection structures”,  
elaborado por: (Green, 2016).

Como se muestra en la Figura 25, las defensas dinámicas están compuestas por varios elementos como los cables de acero, paneles, disipadores de energía y postes

que van anclados al suelo a través de una cimentación para garantizar la absorción de altas cantidades de energía.

Para el uso y diseño de defensas dinámicas Oggeri y Peila (2000) señalaron los siguientes aspectos para tener en cuenta:

- Con base en la trayectoria determinada en el análisis de dinámica de bloques, el obstáculo debe ser lo suficientemente alto para interceptar el bloque. El choque no se produce en el extremo superior de la barrera.
- La conexión entre el cable y el anclaje debe ser resistente al impacto.
- El posicionamiento de los obstáculos se debe basar en la experiencia de las caídas que se producen en el lugar.

En la actualidad existen diversos tipos de defensas dinámicas que ofrece el mercado como medida contra caída de rocas y bloques. Estas defensas se clasifican por su capacidad de obtener energía, las más comunes son las de 500 kJ a 5000 kJ, considerando en cuenta la trayectoria y energía absorbida por la barrera cuando impacta la roca.

#### **1.7.6 Guía de diseño según ETAG 027**

Para el diseño y construcción de un sistema de protección contra caídas de rocas en el que se encuentran las defensas dinámicas es necesario que se implementen los parámetros de la ETAG 027. De acuerdo con la European Organisation for Technical Approvals (2013), esta ETAG es aplicable a los kits de protección contra caída de rocas, que deben componerse por uno o más módulos funcionales idénticos puestos en secuencia, lo que permitiría ajustar la longitud de la barrera al sitio de deslizamiento y al trabajo por proteger.

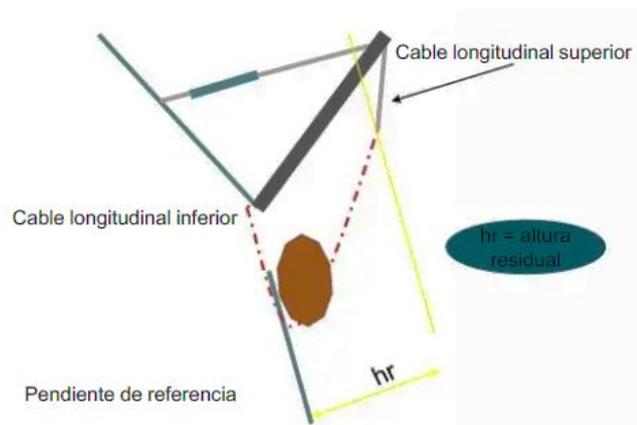
Además, la European Organisation for Technical Approvals (2013) estableció que los módulos ayudan a prever la fácil sustitución de cada componente y permiten la sustitución de cualquier elemento dañado, así como la fácil instalación de la estructura en el suelo y una sencilla construcción en el sitio. Los diseños de las defensas se pueden realizar mediante dos métodos: el método “SEL”, que significa energía de servicio; y el método “MEL”, que hace referencia al máximo nivel de energía.

El método de Energía de Servicio (SEL) se caracteriza por la energía cinética que posee el material desprendido cuando se provoca el impacto con la barrera. Según la norma ETAG 023, para comprobar el correcto funcionamiento de la defensa contra caídos por el método SEL se deben comprobar a través de dos pruebas, las cuales consisten en dos lanzamientos, en los que no se le puede brindar mantenimiento a la defensa.

Como resultado del primer lanzamiento, la defensa debe ser capaz de detener los bloques desprendidos sin tocar el suelo, las partes de conexión de los elementos no aparecerán dañadas o rotas, y la altura restante de la defensa debe ser superior al 70 % del original. Luego, en el segundo lanzamiento, la defensa aún debe evitar que el bloque toque el suelo hasta que la defensa alcance su elongación máxima durante la prueba. Es importante mencionar que, en el caso de las defensas, la altura residual ( $hr$ ) se puede definir como la distancia mínima entre los cables longitudinales superior e inferior, la cual se mide de manera perpendicular a la pendiente referencial después del ensayo sin retirar el bloque.

### Figura 27

*Esquema indicativo de la altura residual en una defensa dinámica*



**Fuente:** (Maccaferri).

Por otro lado, el método de Máximo Nivel de Energía (MEL) hace referencia a la energía cinética que posee un bloque desprendido donde  $MEL \geq 3 SEL$ . Para este método se verifica que la defensa tenga la capacidad de detener el bloque y, además,

que el bloque no toque el suelo antes de que la defensa logre alcanzar su elongación máxima durante la prueba. La diferencia más significativa establece que el choque de los dos bloques contra la protección de caídos debe de ser mayor a la energía de servicio multiplicada por tres.

### 1.7.6.1 Componentes

En concordancia con la European Organisation for Technical Approvals (2013) los componentes de una barrera dinámica se describen en la siguiente tabla.

**Tabla 3.**

*Componentes de una barrera contra caídos*

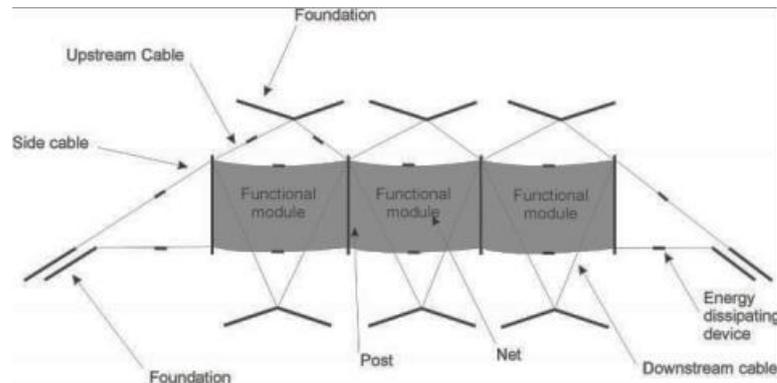
Partes Principales	Componentes	Función
<b>Estructura de intercepción</b>	Red principal compuesta de cables metálicos	Transmitir los esfuerzos a los componentes de conexión, soporte y fundación. Se deforma y/o plásticamente.
<b>Estructura de soporte</b>	Postes hechos de diferentes materiales, geometrías y longitudes. En la parte de abajo cuenta con un pasador	Mantiene la estructura de intercepción en su lugar. Puede conectarse directamente o por medio de componentes de conexión a la estructura de intercepción.
<b>Componentes de conexión</b>	Cuerda, cables, barras, uniones, abrazaderas, elementos de disipación de energía	Transmitir los esfuerzos a la fundación durante el impacto y/o mantiene la estructura de intercepción en posición.
<b>Cimentación</b>	No se detalla en la norma ETAG 027	Transmitir las fuerzas derivadas del impacto del bloque al suelo.

**Fuente:** European Organisation for Technical Approvals (2013).

A continuación, se muestran las figuras 26 y 27, las cuales detallan de mejor manera los componentes de una defensa contra caídos.

**Figura 28**

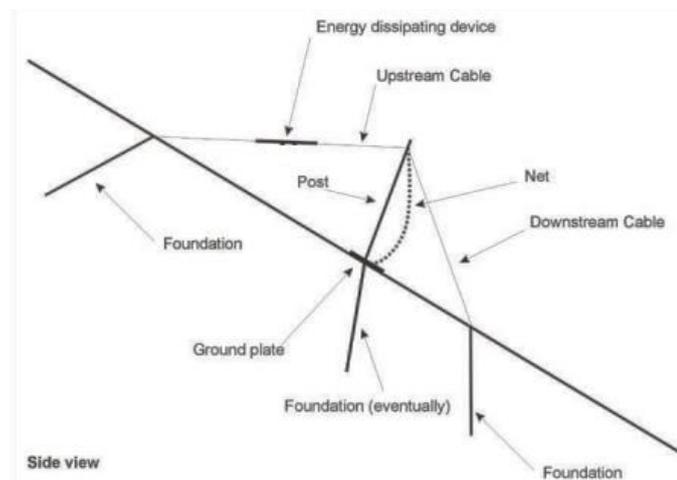
*Vista trasera de una defensa contra caídos*



**Fuente:** European Organisation for Technical Approvals (2013).

**Figura 29**

*Vista lateral de una defensa contra caídos*



**Fuente:** European Organisation for Technical Approvals (2013).

### 1.7.7 Defensas dinámicas sucesivas

En este trabajo investigativo la novedad científica se refiere no solo al uso de barreras dinámicas contra caídos, sino también a la colocación de estas dentro del área de estudio del cerro San Eduardo, con la finalidad de brindar protección a las comunidades del sector.

El término sucesivo alude a un suceso u objeto que se sitúa o sigue justo detrás del anterior, y es precisamente la implementación de dicho significado la que se plantea como solución general para la caída de bloques y rocas, tanto en el cerro San Eduardo, como en distintas zonas montañosas que sufren el riesgo latente de un evento de desprendimiento de rocas.

El objetivo de establecer defensas dinámicas en forma sucesiva radica en brindar una mayor seguridad y protección a los moradores del cerro San Eduardo, puesto que las estimaciones de trayectorias de caídas siempre son propensas a que se susciten cambios bruscos a la hora del desprendimiento y, aún más, con la accidentada topografía que posee el cerro y los procesos antrópicos que ha sufrido la zona.

## **1.8 Marco histórico**

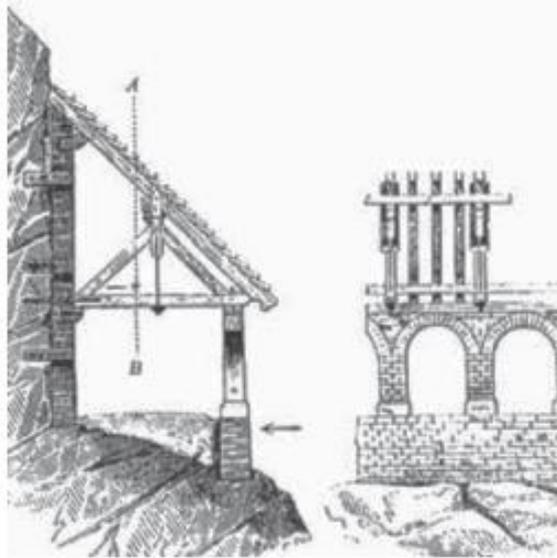
El uso de defensas tuvo su origen y propósito inicial como mecanismo para protección contra avalanchas durante los primeros años del siglo XVI en zonas montañosas amenazadas por este fenómeno, no obstante, su implementación específicamente contra caída de roca se dio en Europa alrededor del año 1834 con la elaboración del ferrocarril que unía varias partes del continente.

La construcción de ferrocarriles de aproximadamente de 200 000 y 480 000 kilómetros en Europa atravesaba regiones montañosas, que ante los trabajos de construcción realizados se generaban desprendimientos de rocas que afectaban la infraestructura. Según los datos de Grosic et al. (2009), el uso defensas dinámicas aún no se había empleado, dado que en los sistemas de mitigación de caída de rocas de la década de 1950 consistían principalmente en paredes rígidas construidas de rieles de acero, vigas de madera, paredes de tierra, llantas, entre otros (material que se encontró a mano en un entorno ferroviario).

Debido a la gran necesidad de brindar protección a la infraestructura vial construida, se realizaron construcciones que pudieran contener las rocas y proteger el tráfico en las zonas montañosas, las cuales fueron innovadoras para la época. Por tal motivo, las conclusiones de Ahlburg (1870) de ilustran en la Figura 28 a continuación.

**Figura 30**

*Uno de los primeros bosquejos de sistemas contra caídas de rocas para proteger al tráfico*



**Fuente:** Ahlburg (1870).

La implementación de redes de cables se empezó a utilizar formando mallas rectangulares que se montaban sobre postes de madera y posteriormente sobre postes de hacer. Tal como se mencionó, en un principio la utilización de estas mallas llegó con el propósito de brindar protección contra avalanchas, sin embargo, en las zonas montañosas donde se utilizaban estas barreras, durante períodos de verano en los que los riesgos de avalanchas desaparecían, estos mecanismos eran expuestos a constantes desprendimientos y caídas de roca, a lo que resistían los impactos del material rocoso.

**Figura 31**

*Primeras barreras con marco de madera para protección de avalanchas*



**Fuente:** Paima y Sangama (2019).

Después de conocer la barrera contra avalanchas se decidió mejorar el sistema, y en 1958 se construyó la primera estructura de red de cables contra caída de rocas en Brusio-Suiza, cuyo objetivo era brindar protección a las líneas de transmisión en Campocologno-Cavallia. Su estructura de malla se puso sobre muros de contención y se tensó con vigas de acero.

## **CAPÍTULO II. DESARROLLO METODOLÓGICO Y PRÁCTICO**

### **2.1 Materiales**

#### **2.1.1 Recursos Humanos**

Para el presente **Trabajo de Titulación** se tuvo la participación del siguiente personal:

- 01 tesista
- 01 tutor designado por la Facultad de Ingeniería de la UCSG
- 01 topógrafo
- 02 resguardo policial

#### **2.1.2 Recursos de equipos**

Para este trabajo investigativo se contó con los siguientes equipos:

- Computadora portátil
- Cámara fotográfica
- Equipo topográfico (dron)

### **2.2 Metodología de la investigación**

Para la elaboración de un documento investigativo es fundamental realizar un proceso de recopilación de información con respecto al tema que se busca desarrollar, con la finalidad de obtener nuevas ideas que conduzcan a la resolución del problema planteado. Las distintas fuentes de información que se consultan a lo largo del trabajo investigativos deben ser confiables y validas, para así poder emplearlas en soluciones y herramientas que brinden un sustento al tema elaborado.

### **2.2.1 Investigación documental**

El autor Tancara (1993) definió la investigación científica, en primer lugar, como una gama de métodos y técnicas para buscar, procesar y almacenar información contenida en documentos; y, en segundo lugar, como una presentación sistemática, coherente y bien documentada de nueva información en documentos científicos.

Así pues, se puede establecer que el método que se utilizó para este estudio es el que se mencionó en el párrafo anterior, debido a que se realizó un extenso levantamiento bibliográfico de definiciones pertinentes como lo son las defensas dinámicas y los distintos parámetros de análisis que implican su uso para el caso del presente trabajo.

Además, se investigaron ejemplos de ensayos de defensas dinámicas que llevaron a cabo empresas mundiales que se especializan en sistemas de protección contra caídos, con el fin de aplicarlos exitosamente al medio local donde el conocimiento de estos mecanismos es escaso y, a su vez, resulta de utilidad para brindar protección a las comunidades y vías cercanas al cerro San Eduardo. Los datos se tomaron de diversos documentos como tesis, libros, documentos científicos, revistas, guías de diseño, entre otros.

### **2.2.2 Investigación de campo**

La investigación de campo es una investigación que se realiza de manera directa en el lugar y tiempo en el que ocurren los sucesos que provocan el estudio. Para este trabajo investigativo también se empleó el método de investigación de campo al llevar a cabo una visita técnica a la zona amenazada por caída de rocas en el cerro San Eduardo.

A través de la investigación de campo fue posible obtener información como registros fotográficos de zonas afectadas y la implementación de equipo topográfico como lo fue un dron para conseguir información pertinente acerca de la forma que tiene el terreno donde se realizó el estudio. También resultó útil para tomar testimonio de los moradores, quienes afirmaron la problemática que busca resolver este **Trabajo de Titulación**.

## **2.3 Técnicas y métodos de recolección y análisis de datos**

Para la recolección de información se utilizaron fuentes bibliográficas y se realizó un trabajo de campo en la zona de estudio. El levantamiento bibliográfico resultó de gran importancia para desarrollar conceptos importantes que brindaran coherencia a la investigación. Por su parte, el trabajo de campo cumplió la función de obtener un registro fotográfico y un levantamiento topográfico de la zona a través de un dron.

Una vez se recopiló la información de fuentes bibliográficas y de la visita de campo, se procedió a analizar los resultados con herramientas y softwares computacionales como AutoCAD, para obtener los perfiles topográficos y las curvas de nivel; y el software Google Earth Pro, para tener una vista general del área de estudio.

### **2.3.1 Programa Google Earth Pro**

Se empleó la herramienta de Google Earth Pro para localizar la zona de estudio y tener una perspectiva aérea de posibles rutas de acceso a la zona alta del cerro.

### **2.3.2 Programa AutoCAD**

La utilización del software AutoCAD permitió implementar la información de las curvas de nivel y perfiles topográficos que se obtuvieron en la visita técnica mediante el dron.

### **2.3.3 Programa QGIS**

El uso del software QGIS hizo posible determinar las áreas donde se acumulará la mayor cantidad de escorrentía, para así determinar las áreas más amenazadas por flujo de detritos.

### **2.3.4 Utilización de un dron**

El dron se empleó como una herramienta para obtener información topográfica del cerro San Eduardo y, de igual manera, para realizar fotografías aéreas.

### **2.3.5 Curvas de nivel y perfiles topográficos**

La información topográfica que se consiguió con el dron fue fundamental para conocer el relieve de la zona y determinar lugares en los que se podrían suscitar eventos de caídas de rocas.

### **2.3.6 Recopilación de fotografías**

La recopilación de fotografías aéreas se obtuvo por medio del dron con la finalidad de poder realizar un análisis visual de la zona y, a su vez, determinar las zonas que se encuentran en riesgo de una caída de rocas.

## **2.4 Sistemas de barreras dinámicas a nivel mundial**

La implementación de barreras dinámicas como sistema de defensa contra caídas de rocas es muy común en otras zonas, especialmente en el escenario europeo. Las defensas dinámicas se utilizan en diversos ámbitos como la minería, la protección de carreteras, la estabilización de taludes y la protección de infraestructura importante. Existen grandes empresas que realizan estas obras a gran escala en los distintos lugares en los que se requieren estos tipos de sistemas.

### **2.4.1 Aplicaciones**

La solución de defensa dinámica consta de un conjunto de elementos que incluyen placas de varilla y cables de acero conectados a los elementos estructurales para garantizar la absorción de la alta energía que genera el impacto. Además, durante un evento de caída, el sistema asegura la energía de la roca esparcida y así evita un mayor movimiento.

Una manera fundamental para determinar la resistencia de las defensas dinámicas es a través de pruebas de cargas controladas y normadas a los distintos folletos de diseño, por lo tanto, es importante realizarlas de forma correcta para encontrar las características de las defensas más acertadas a la realidad.

**Figura 32**

*Ensayo de la defensa dinámica RMC 300/A*



**Fuente:** Maccaferri (2019).

De igual manera, la aplicación de estos mecanismos a eventos de la vida real en zonas amenazadas por caídas de rocas se convierte en algo muy importante para describir la relevancia de las defensas dinámicas.

La aplicación de los mecanismos de defensas dinámicas tuvo lugar en Blanes-España, en el talud de la calle Cardenal Vidal i Barraquer, donde se suscitaron desprendimientos de piedras y bloques, los cuales afectaron por varios años el acceso al Parque Botánico de Blanes y puso en riesgo la vida de los visitantes. Como solución se optó por poner las defensas RMC 050/A y RMC 200/A.

**Figura 33**

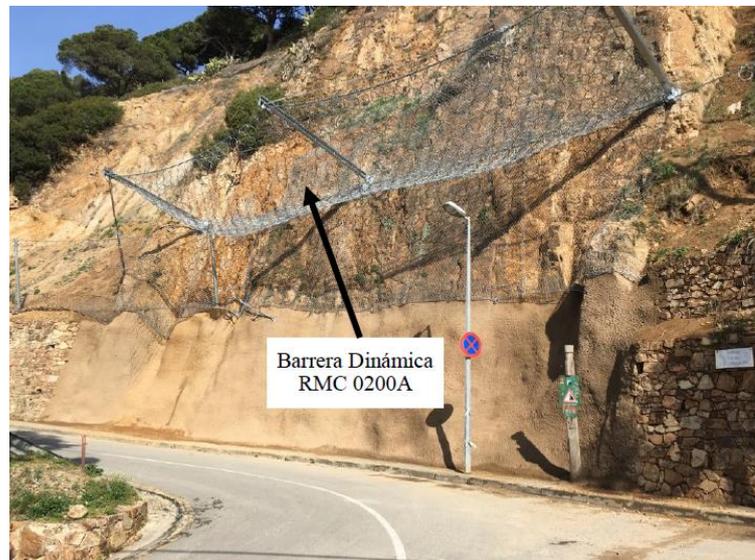
*Colocación de defensa dinámica*



**Fuente:** Maccaferri (2017).

**Figura 34**

*Colocación de defensa dinámica*



**Fuente:** Maccaferri (2017).

Por otro lado, se realizó otra aplicación de estos mecanismos en Ende-Detusoko National Road STA 018, Flores Island, NTT Province, Indonesia en el año 2018, donde a lo largo de la carretera nacional entre Ende y Detusoko en la isla de Flores, provincia de Nusa Tenggara Timur, los desprendimientos de rocas y los derrumbes de pendientes podrían causar víctimas mortales y daños a vehículos e infraestructuras. Como solución se empleó una barrera RXE-3000 con una altura de 5 m y una longitud de 100 m.

### **Figura 35**

*Aplicación de una defensa en Ende-Detusoko National Road, ID*



**Fuente:** Geobrugg (2018).

## **2.5 Procesamiento e implementación de la información**

### **2.5.1 Reconocimiento del lugar**

Para lograr un correcto dimensionamiento de las defensas dinámicas sucesivas, se llevó a cabo una visita técnica al lugar de interés en el cerro San Eduardo. La visita

de campo permitió conocer la zona con mayor detalle, realizar un análisis visual del terreno y determinar las zonas que se encuentran en riesgo ante un evento de caída de bloques de roca que pueda afectar la infraestructura vial y domiciliaria de los habitantes que se asientan en las zonas del cerro. Para determinar la ubicación geográfica del área de estudio se procedió a usar el programa Google Earth Pro:

- Latitud: 2°11'0.56"S
- Longitud: 79°55'46.95"W

### **Figura 36**

*Mapa satelital de la zona 1 junto al Estadio Monumental*



**Fuente:** Adaptado de Google Earth Pro.

- Latitud: 2°10'24.77"S
- Longitud: 79°55'43.16"W

### Figura 37

Mapa satelital de la zona 2 junto a la entrada del túnel



Fuente: Adaptado de Google Earth Pro.

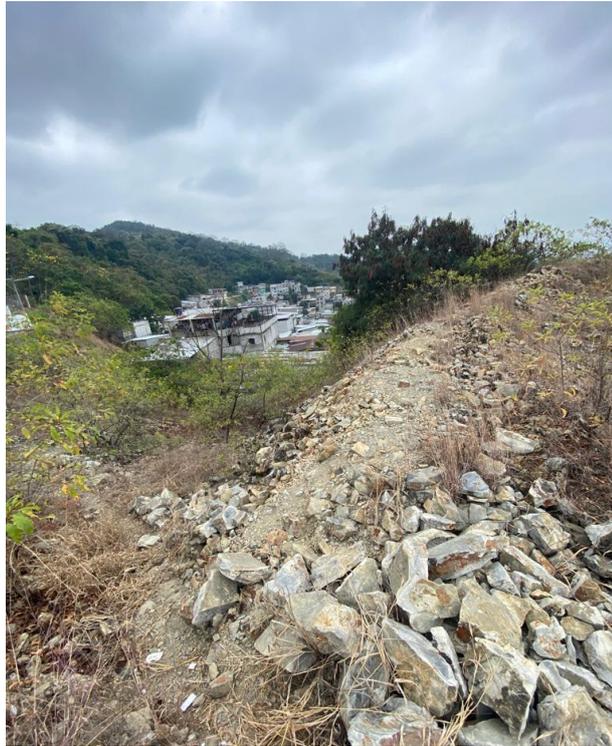
#### 2.5.2 Características geológicas

Durante la visita técnica realizada, se logró identificar la composición del talud que amenaza a la población del cerro San Eduardo. Este talud consta de suelo residual y rocas desprendidas o próximas a desprenderse. De igual manera, se evidenció que ya han existido desprendimientos previos a la visita.

En la Figura 30 se puede observar cómo existe roca altamente fracturada y meteorizada, las cuales se encuentran sueltas en la zona alta del cerro San Eduardo, además, amenazan con caer y provocar accidentes en la población aledaña. Así mismo, en las figuras 31 y 32 se puede evidenciar cómo el gran macizo rocoso se encuentra fracturado y ya se desprendió una sección de este.

**Figura 38**

*Rocas sueltas en la zona alta del cerro San Eduardo (zona 1)*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 39**

*Sección desprendida del macizo rocoso (zona 1)*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 40**

*Sección desprendida del macizo rocoso (zona 1)*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 41**

*Acumulación de rocas sueltas, basura y madera (detritos) (zona 2)*



**Fuente:** Elaboración propia.

### 2.5.3 Vegetación existente

Al pertenecer al Bosque Protector Cerro Paraíso, el cerro San Eduardo cuenta con una amplia diversidad en árboles y arbustos que cubren casi en su totalidad al talud inestable en el que se producen desprendimientos de rocas. Como ventaja, la cobertura vegetal que existe en el talud aporta a la reducción, en cierta cantidad, de los deslizamientos y disminuye la energía con la que caen los bloques de roca acentuados en la superficie, tal como lo indicaron Volkien et al. (2011) el tipo de protección más natural es un bosque. Su efecto de protección se debe básicamente al efecto barrera (disipación de energía) de los árboles en pie y tumbados.

#### **Figura 42**

*Densa cobertura vegetal en el talud con riesgo de deslizamiento (zona 1)*



**Fuente:** Elaboración propia.

### **Figura 43**

*Vegetación existente (zona 1)*



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **2.5.4 Estudio topográfico**

El objetivo del estudio topográfico fue determinar las características del terreno de la zona de estudio y las zonas con características geométricas que pueden influir en la caída de bloques de roca. Además, este estudio detalla el trabajo de campo realizado, el cual se plasmó en planos topográficos del terreno a través de curvas de nivel y perfiles.

Para la obtención de los datos del levantamiento topográfico se empleó un dron, el cual se utilizó con el apoyo de un topógrafo especialista en este tipo de herramientas. Del levantamiento topográfico en la zona 1 se obtuvieron curvas de nivel, las cuales son de utilidad para determinar la altura y forma del terreno, además de 47 perfiles que serán de utilidad para conocer posibles rutas y trayectorias de los bloques desprendidos. Adicional a esto, en la zona 2 se elaboró una fotografía aérea de todo el barrio y a través de la ayuda del Software QGIS, se obtuvo un mapa de escorrentías con la que se podrá determinar un área amenazada para flujo de detritos.

## Figura 44

*Equipo topográfico utilizado*



**Fuente:** Elaboración propia.

### 2.5.4.1 Topografía zona 1

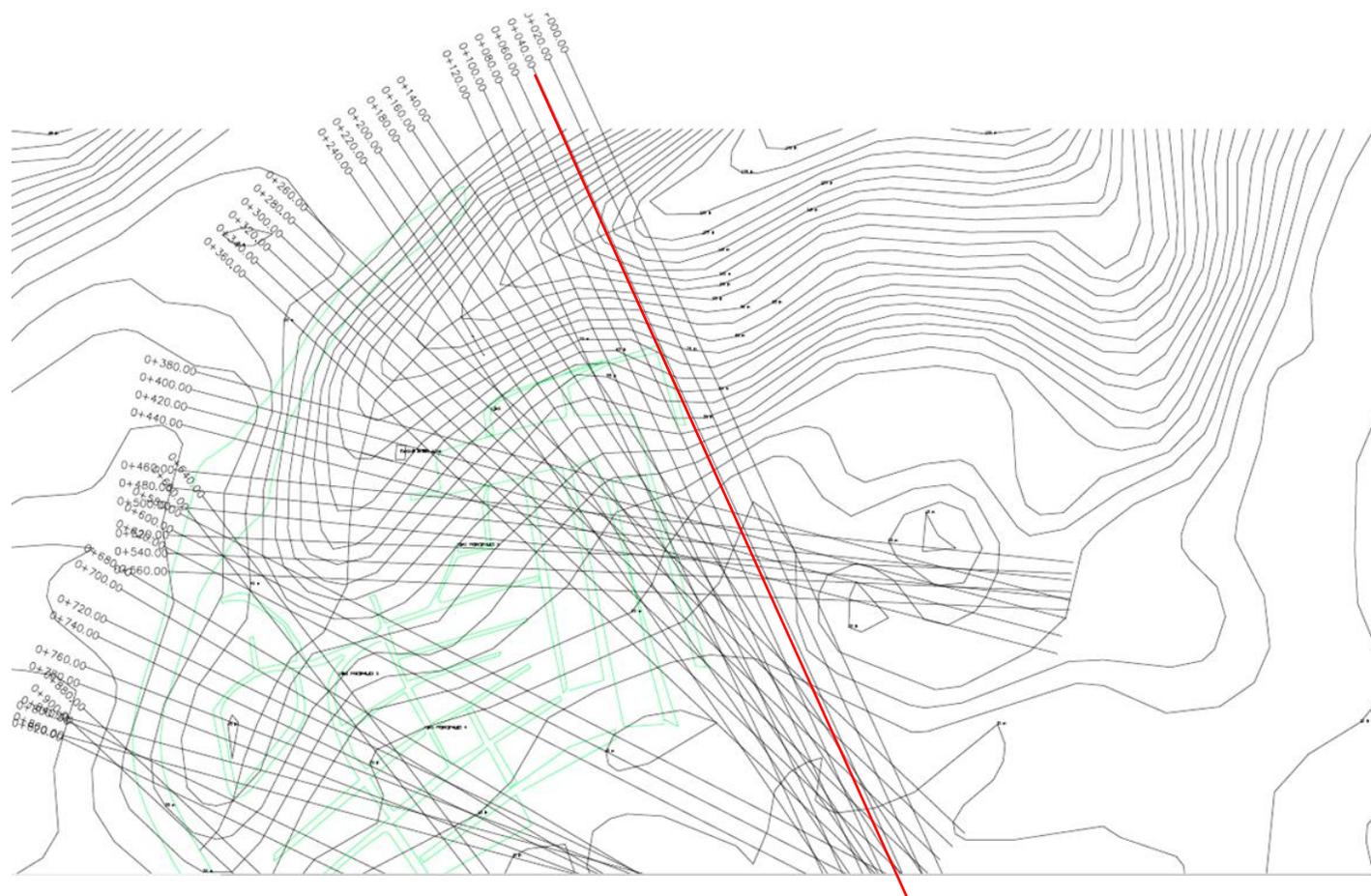
El estudio topográfico del cerro San Eduardo en la zona 1 se llevó a cabo frente a la Av. Barcelona, junto a la Av. Modesto Apolo, donde se han suscitado eventos de caída de rocas que afectaron la infraestructura vial. Al lugar ubicado dentro de la comunidad se realizó un levantamiento topográfico con la ayuda de un dron.

Una vez se hizo el estudio topográfico de los 47 perfiles obtenidos, se seleccionó uno que se sitúa en la zona que amenaza con desprendimientos. El perfil elegido fue el 0+040.00, que cuenta con una elevación máxima de 118,28 m y un ángulo de inclinación de  $70^\circ$  aproximadamente, hasta una altura de 20 m donde empieza a perder inclinación y el terreno se convierte más plano.

La altura del perfil topográfico que se escogió permite que los bloques desprendidos se puedan desplazar a altas velocidades y a su vez adquirir un alto nivel de energía que, en caso de llegar a la zona habitada, puede causar bastante daño a las viviendas.

**Figura 45**

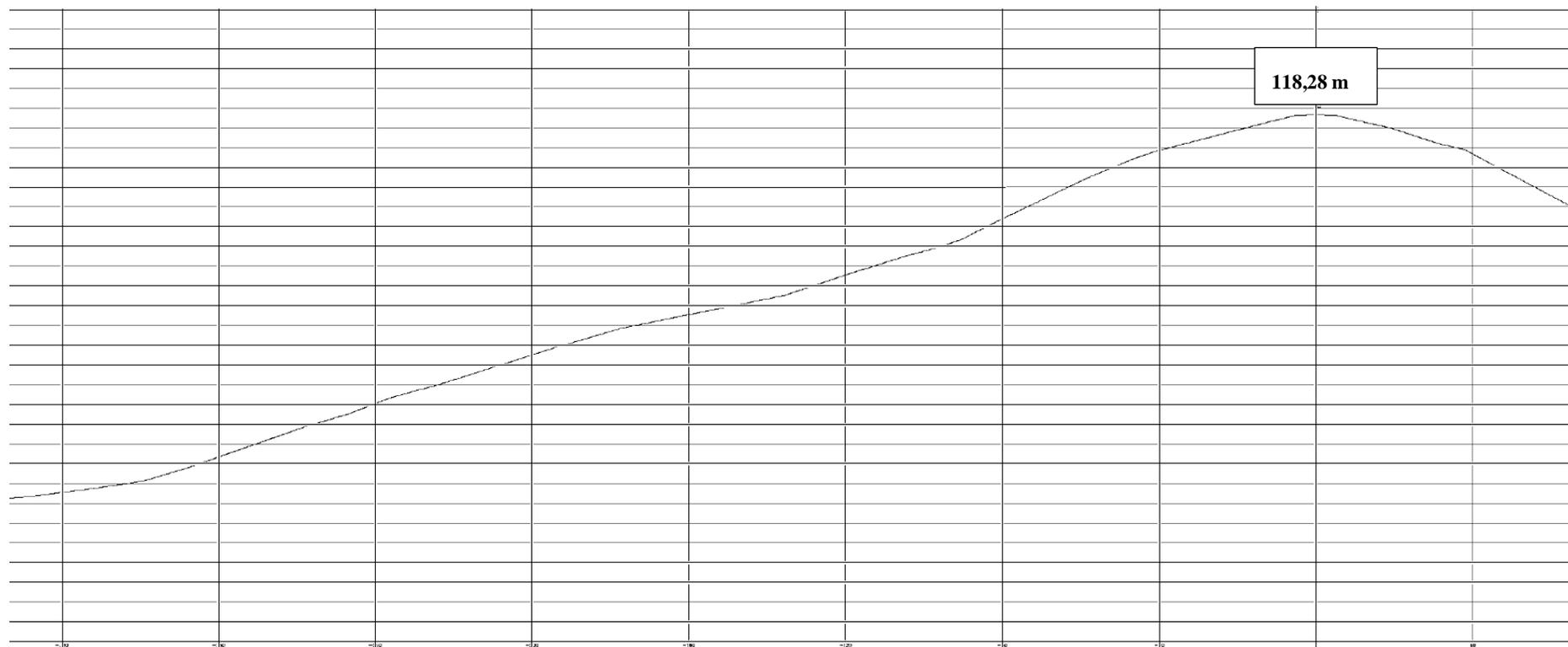
*Topografía y ubicación de los perfiles en la zona 1*



**Fuente:** Elaboración propia.

### Figura 46

*Perfil topográfico seleccionado*



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **2.5.4.2 Topografía zona 2**

Por otro lado, el estudio topográfico de la zona 2 se realizó en el cerro San Eduardo en la zona 2, junto a la entrada del túnel a través de la Av. Modesto Apolo en el lado sur. Para este caso se utilizaron coordenadas y fotografías aéreas que se introdujeron en el software QGIS para determinar las zonas donde se acumulará la escorrentía producida por el flujo de detritos presente en el lugar. Según la visita técnica y el estudio topográfico se logró estimar una pendiente de aproximadamente 45°.

#### **2.5.5 Análisis fotográfico**

La obtención de registros fotográficos para el análisis de la problemática que se planteó en este trabajo investigativo fue fundamental como información. A través de las fotografías que se tomaron en la visita técnica fue posible determinar varias características importantes de la zona de estudio como la tipología de viviendas ubicadas en el cerro San Eduardo, la vegetación existente y zonas donde se evidencian rocas desprendidas.

#### **2.5.6 Antecedentes de riegos en la zona**

La caída de rocas y bloques es un suceso que se encuentra latente en la zona del cerro San Eduardo. Existen registros periodísticos del 2019 que indican los problemas de desprendimientos de rocas en la Avenida Modesto Apolo (que provocaron el cierre parcial de la vía), sin embargo, los barrios del cerro también se han visto afectados por esta problemática.

**Figura 47**

*Rocas desprendidas en la Av. Modesto Apolo*



**Fuente:** Diario El Universo (2020).

**Figura 48**

*Defensa empírica elaborada por lo moradores del cerro San Eduardo debido a la caída de rocas (zona 1)*



**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura 37, la circunferencia roja permite observar cómo la caída de bloques desprendidos corresponde a un evento que tiene antecedentes en la zona de estudio, a tal extremo que los moradores del sector tomaron la iniciativa de construir sus propias defensas contra caídas de rocas de manera artesanal ante la falta de atención por parte de las autoridades y la alta tasa de riesgo que existe en la zona debido a esta problemática.

### **2.5.7 Actualidad de riesgo en la zona**

A través de registros fotográficos se procedió a determinar los riesgos que existen actualmente en la zona poblada del cerro San Eduardo. El riesgo se encuentra mayormente en la zona más alta del cerro, donde existe material rocoso desprendido y las casas están cercanas a los lugares de caídas.

#### **Figura 49**

*Roca desprendida próxima a caer (zona 2)*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 50**

*Inestabilidad en casa comunal del barrio San Eduardo (zona 2)*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 51**

*Vivienda ubicada en una ladera propensa a caída de bloques (zona 1)*



**Fuente:** Elaboración propia.

## 2.5.8 Áreas de riesgos involucradas

Con la finalidad de realizar un análisis pertinente al área de estudio que representa un riesgo para la población del cerro San Eduardo se procedió a realizar tomas a través del software Google Earth.

**Figura 52**

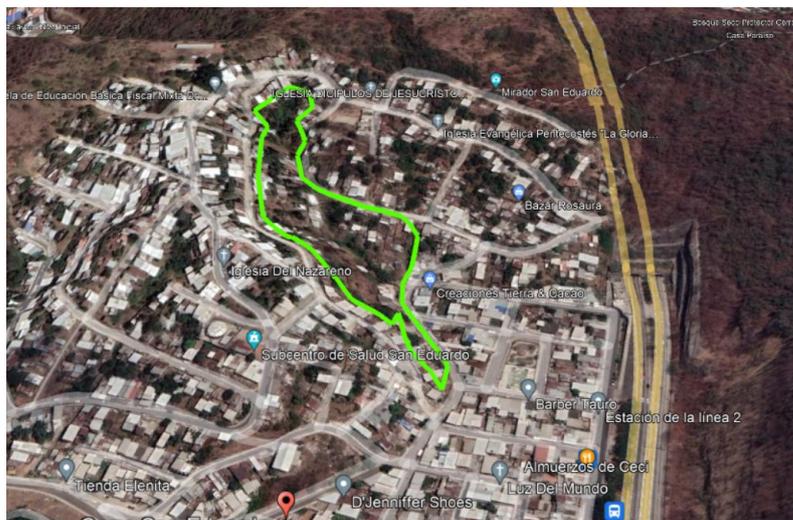
*Zona de estudio 1*



**Fuente:** Adaptado de Google Earth Pro.

**Figura 53**

*Zona de estudio 2*



**Fuente:** Adaptado de Google Earth Pro.

### **2.5.9 Probabilidad de caída rocas y flujo de detritos en el cerro San Eduardo**

La ocurrencia de un fenómeno de caída de roca en el cerro San Eduardo es un riesgo inminente y actual que afecta no solo a las calles cercanas, sino también a las poblaciones que viven en el cerro. Estas rocas que caen a grandes velocidades pueden destruir casas, sustento económico y vidas, por consiguiente, es importante determinar la ocurrencia de estos eventos de desprendimientos de bloques. Las condiciones climáticas y antrópicas son factores que favorecen a la caída de rocas, debido a que provocan fracturación y aumentan la meteorización de las rocas, dadas estas condiciones se puede establecer que la probabilidad de un evento de caídas es muy alta, lo cual se traduce en un riesgo para la población.

De acuerdo con Suárez (1998), el riesgo es una medida de la probabilidad y gravedad de los efectos adversos sobre la vida, la salud, la propiedad o el medio ambiente. Este se mide en la vida y bienes de las personas en riesgo. Es decir, es importante determinar la probabilidad de ocurrencia de un evento que amenace una población para poder determinar el riesgo. De igual manera, Suárez (1998) elaboró una tabla que indica los grados de susceptibilidad a los deslizamientos según las condiciones en las que se encuentran los taludes.

**Tabla 4.**

*Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos*

<b>Grado de Susceptibilidad</b>	<b>Criterio</b>
Muy alta	Laderas con zonas de falla, masas de suelo altamente meteorizadas y saturadas, y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe alta posibilidad de que ocurra
Alta	Laderas que tienen zonas de falla, meteorización alta a moderada y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.
Moderada	Laderas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados donde no han ocurrido deslizamientos pero no existe completa seguridad de que no ocurran.
Baja	Laderas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados no saturados con discontinuidades favorables, donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos.
Muy baja	Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos.

**Fuente:** Suárez (1998).

Con base en la descripción de la tabla, a la visita técnica y al registro fotográfico obtenido de la condiciones del cerro, se puede establecer que el grado de de susceptibilidad es muy alto, lo cual aumenta la probabilidad de deslizamientos y, a su vez, la de caída de rocas, por ende, representa un riesgo alto para la población del cerro San Eduardo.

#### **2.5.10 Rutas de bloques y rocas desprendidas**

En la visita técnica se presencié material desprendido y suelos residuales en pendientes bastante pronunciadas, lo cual se puede tomar como un indicativo de posibles rutas de caídos. Además, con la ayuda del equipo topográfico se realizaron varios perfiles que ayudaron a identificar rutas que representen un peligro para la comunidad.

**Figura 54**

*Ruta para flujo de detritos (zona 2)*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 55**

*Ruta de caída de bloques (zona 1)*



**Fuente:** Elaboración propia.

### 2.5.11 Método de falla

Con la información que se recopiló en la visita de campo y las referencias bibliográficas planteadas en el marco teórico, es importante definir que el tipo de falla por caídos fue el enfoque principal en este trabajo investigativo.

### 2.5.12 Análisis de pendiente

**Tabla 5.**

*Clasificación de pendientes*

<b>Clasificación</b>	<b>Pendiente (ángulo de inclinación)</b>
Muy baja	0 a 5 % (0 a 8.5 grados)
Baja	15 a 30 % (8.5 a 16.7 grados)
Mediana	30 a 50 % (16.7 a 26.6 grados)
Alta	50 a 100% (26,6 a 45 grados)
Muy alta	Más del 100% (más de 45 grados)

**Fuente:** Suárez (1998).

Así mismo, es relevante mencionar que el cerro San Eduardo al pertenecer a una cordillera como lo es la de Chongón-Colonche, cuenta con pendientes muy pronunciadas que influyen en gran parte a la velocidad y energía con la que caen las rocas desprendidas hacia la población del cerro. Por un lado, la zona 1 del cerro San Eduardo presenta una pendiente de 70°, es decir, se clasifica como muy alta, lo cual incrementa el riesgo en el lugar. Por otro lado, la zona 2 del cerro cuenta con una pendiente de 45°, lo que quiere decir que posee una clasificación alta, esto también representa un gran riesgo para la población en caso de que se den eventos de caída de rocas.

## 2.6 Defensas dinámicas sucesivas

### 2.6.1 Componentes de las defensas

Según la European Organisation for Technical Approvals (2013), las defensas dinámicas están formadas por estructura de intercepción y de soporte, así como

componentes de conexión y cimentación. Cada parte se divide en diferentes elementos que lo conforman.

### **2.6.1.1 Estructura de intercepción**

La función principal de la zona de intercepción es resistir el impacto directo del bloque desprendido a través de su deformación elástica y de la transmisión de las fuerzas de tensión al resto de los componentes de las defensas. Por lo general, la estructura de intercepción se forma de dos capas unidas entre sí.

El componente principal está compuesto por una red de anillos metálicos que se encarga de resistir y transmitir las cargas del impacto al resto de la defensa. Por otra parte, el componente secundario es una retícula más pequeña formada de mallas de alambre, cuyo propósito consiste en retener los elementos de menor tamaño, con la finalidad de brindar protección a la zona deseada.

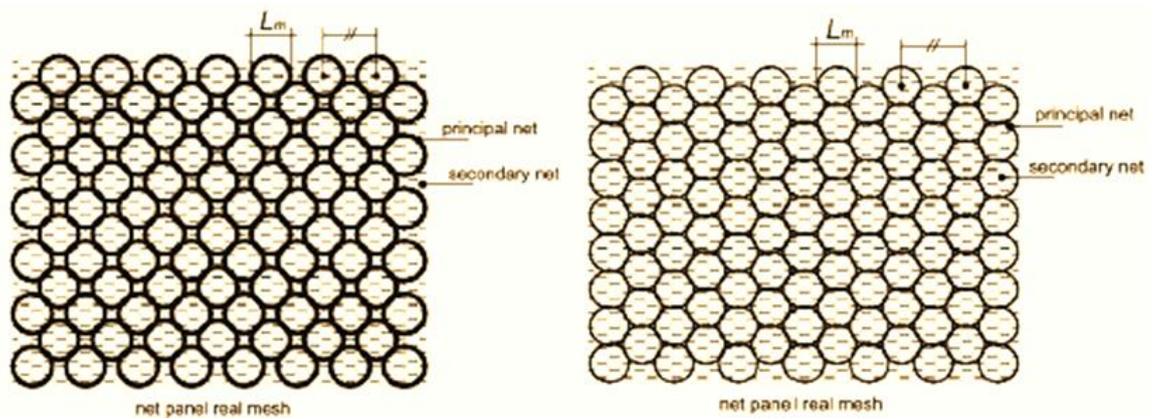
#### **2.6.1.1.1 Red de anillos**

La función principal de la red es estar en contacto directo con la roca al momento de la caída, por lo cual debe tener una resistencia adecuada para que el mecanismo de anillos funcione de manera apropiada y la energía con la que impacta el bloque desprendido se disipe correctamente.

La red de anillos se compone de anillos entrelazados entre sí. Cada anillo individual está formado por varias vueltas de alambres de alta resistencia. La ventaja que presentan las redes de anillos por encima de otras estructuras de intercepción radica en su alta deformabilidad, la cual implica una alta absorción de energía. Su disposición puede ser mediante una configuración donde se conectan cuatro anillos o una segunda donde se conectan seis anillos.

**Figura 56**

*Red de cuatro anillos (izquierda) y red de seis anillos (derecha)*



**Fuente:** Adaptado de de Miranda et al., (2015).

### 2.6.1.2 Estructura de soporte

El propósito de la estructura de intercepción es que se mantenga de pie todo el sistema, para ello se emplean postes de distintos materiales, longitudes y geometrías. Además, sus elementos son desmontables, lo que permite que se sustituyan en caso de un accidente.

#### 2.6.1.2.1 Postes o elementos rígidos de anclaje

Comúnmente se utilizan perfiles H y circulares en los que ambos se distinguen básicamente por su torsión y resistencia a la flexión. Los perfiles H tienen una sección abierta y se caracterizan por poseer un gran momento de inercia, lo cual se traduce en una alta resistencia a flexión. A pesar de esto, cuando el perfil H se rota  $90^\circ$  su resistencia se reduce considerablemente. Por otro lado, los perfiles circulares mantienen sus características de resistencia sin importar la orientación que posea la carga actuante.

### **2.6.1.3 Componentes de conexión**

Los elementos de conexión funcionan como unión entre los distintos componentes de la barrera. Dentro de este grupo pueden estar las placas de base, cables, anclajes y disipadores de energía.

#### **2.6.1.3.1 Placas de base**

Se trata de una placa metálica, que se encuentra anclada a la cimentación medias barras de acero que terminan en una zona para enroscar, la cual posee una tope frontal que permite que el poste utilizado bascule. La placa de base se debe seleccionar con base en el perfil para que se dé una conexión correcta.

#### **2.6.1.3.2 Cables o elementos flexibles de anclaje**

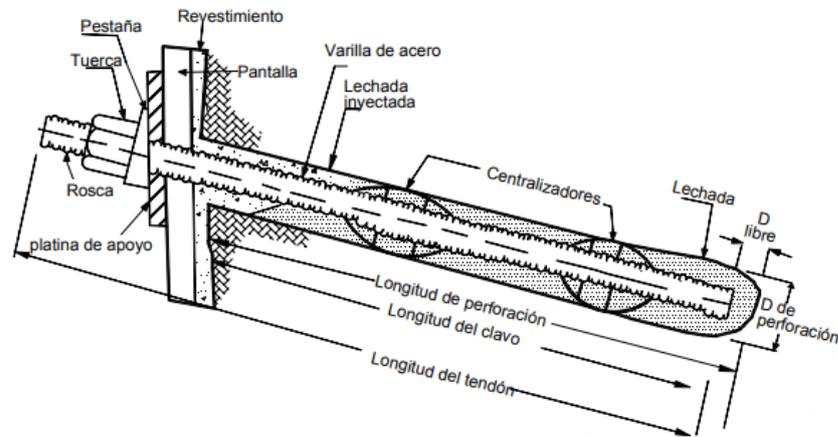
La función principal de los cables consiste en transmitir las fuerzas de la parte alta del poste al anclaje y, a su vez, poder sujetar la estructura de contención. Cuando sucede un desprendimiento y la malla de contención recibe el impacto, el cable de acero se desarrolla como protagonista, puesto que debe tener la resistencia suficiente para ser capaz de soportar las cargas que se generan, así como la fricción producida por el impacto.

#### **2.6.1.3.3 Anclajes**

Son los elementos que se encargan de ir dentro del talud rocoso y sirven para transmitir las fuerzas de los cables y las del poste al suelo.

## Figura 57

*Esquema de anclajes para defensas dinámicas*



**Fuente:** Suárez (2000).

### 2.6.1.3.4 Disipadores de energía

También se conocen como frenos, son parte de una defensa dinámica cuyo propósito es absorber parte de la energía que causa un desprendimiento de rocas, lo que a su vez ayuda a reducir la tensión en la estructura general. Cuando un bloque se rompe y comienza a caer tiene energía cinética y potencial, y el sumidero de energía convierte esta energía cinética y potencial en energía de deformación, fractura y térmica debido a la fricción.

En concordancia con Chimal (2012), los disipadores de energía se dividen en dos grupos:

Por fricción:

- Placas metálicas que delimitan los extremos de los cables.
- Bucle de cable cerrado con sujetadores.
- Bucle cerrado con placa de metal.
- Anillos protegidos por un anillo de acero prensado.
- Un anillo de freno de base tubular en el que los dos cables se deslizan en direcciones opuestas con topes en sus extremos.

Por cortante:

- Un anillo tubular en el que dos cables cortos se deslizan en direcciones opuestas. Arrastran cuñas o cizalla para desgarrarlo.
- Fusibles a base.

#### **2.6.1.4 Cimentación**

Las defensas se pueden ubicar bajo distintas condiciones que definan la cimentación. La más común es en las laderas, apoyadas de manera directa sobre una superficie de roca o en una capa de hormigón, mortero, que se pueden usar como nivelador.

#### **2.6.2 Factor de seguridad**

La relevancia del cálculo de un factor de seguridad está en garantizar que, ante cambios drásticos o imprevistos en los sucesos esperados en un proyecto, exista un margen adicional de seguridad y características que estén por encima de un factor de seguridad cuyo mínimo es de 1,5 según (Bañon Blázquez & Beviá García, 2000)

Así las cosas, existen varias formas de calcular el coeficiente de seguridad para estos mecanismos de protección. La forma tradicional y más común es mediante la división entre la capacidad máxima del sistema y el valor del requerimiento al que será sometido, la cual se muestra a continuación en la ecuación 1:

#### **Ecuación 1**

$$FS = \frac{Qm}{Qr}$$

Donde:

$Qm$  = carga máxima que soporta la estructura.

$Q_r$  = Carga máxima a la cual el sistema va a ser sometido.

Por otro lado, también es importante enunciar el segundo método de cálculo que se muestra a continuación:

### **Ecuación 2**

$$FS = f_1 \cdot f_2 \cdot f_5 \cdot f_6 \cdot (f_3 \cdot f_4)^2$$

Donde:

$f_1$ : hace referencia a la importancia de la obra. Los valores varían entre 1 y 1,2 dependiendo de la importancia histórica o artística de esta. Su valor es máximo cuando la obra tiene gran relevancia.

$f_2$ : es el factor reductor de la capacidad de la defensa. El valor de 1 se usa con el método SEL y el valor de 1,2 con el método MEL.

$f_3$ : se refiere a la fiabilidad del levantamiento topográfico. Los valores van de 1,01 a 1,07; donde el mayor valor equivale a la poca fiabilidad del levantamiento.

$f_4$ : alude a la calidad y exactitud de las dimensiones del bloque desprendido. Los valores van desde 1,01 a 1,07; donde su valor máximo se utiliza cuando la información es aproximada.

$f_5$ : hace alusión a la calidad y exactitud del peso del bloque desprendido. Los valores van desde 1 a 1,05; donde su valor máximo se utiliza cuando no se conoce mucha información sobre su densidad.

$f_6$ : se trata de la calidad de la simulación de la caída de bloques. Los valores pueden ser 1,02 y 1,07; donde el primero se usa para los valores de los coeficientes de restitución derivados del análisis hacia atrás y el segundo se usa cuando los coeficientes se usan con referencias bibliográficas.

### **2.6.3 Dimensionamiento**

Las distintas empresas que comercializan pantallas dinámicas en el mercado varían sus dimensiones de acuerdo con los distintos requerimientos de los clientes con

base en los estudios previos realizados. Establecer dimensiones de las pantallas y cada uno de sus componentes permite simplificar y ayudar al análisis estructural, debido a que la resistencia de sus partes depende de su geometría.

Estas pantallas están ensayadas y certificadas con normas de calidad y un dimensionamiento óptimo para ofrecer seguridad ante un evento de caída de bloques y la energía que los elementos de roca desprendidos producen al impactar con la pantalla, por lo tanto, el estudio de varios parámetros relacionado con la geometría de la pantalla aportará a la comprensión de los métodos de fallo y la localización de estos.

#### **2.6.4 Construcción**

Una vez se plantean las investigaciones preliminares y el diseño, la construcción de las defensas dinámicas sucesivas es una de las etapas más importantes del proyecto en desarrollo. Los trabajos que implican la instalación de la defensa se deben efectuar de manera correcta, para así garantizar la interacción adecuada entre los distintos componentes de las defensas que actúan entre sí, lo cual se puede lograr al asegurar la resistencia individual de cada uno.

Previo a la instalación y construcción de la defensa se deben realizar trabajos preliminares de limpieza del lugar donde se colocará la defensa. Además, se debe contar con personal calificado y el suministro del material hasta la ubicación final de las defensas dinámicas sucesivas. Así mismo, una vez que se determina el método de cimentación, se realizan las perforaciones para los anclajes de las placas base y la cimentación específica de los postes del sistema para luego colocarlos.

#### **2.6.5 Mantenimiento**

Al instalarse las defensas dinámicas sucesivas, su funcionamiento se verá influenciado en gran manera por las condiciones en las que se encuentren sus componentes. Para dar un mantenimiento adecuado se deben tener en cuenta factores como los climáticos, antrópicos y caídas de rocas; para lo cual se debe elaborar un plan de mantenimiento preventivo, de tal forma que la resistencia de la defensa no reciba una afectación adicional a la esperada por factores que se pueden controlar.

La implementación de defensas dinámicas constituye un sistema cuya ventaja radica en la disminución de costos con relación a otros sistemas, sin embargo, su mantenimiento no se debe tomar como algo poco relevante. Por ello, Chimal (2012) mencionó algunos puntos relevantes en el mantenimiento:

- Despeje del sitio, retiro de los escombros de rocas pequeñas, aumento de la flora y eliminación de árboles caídos.
- Evitar que los componentes se oxiden.
- Revisión del movimiento correcto de las zonas articuladas del poste.
- Comprobación del estado de los casquillos.
- En caso de presentarse caída de rocas con menor magnitud de la esperada, se monitorea continuamente el desplazamiento del anillo.

## **CAPÍTULO III. PROPUESTA GEOTÉCNICA A PARTIR DEFENSAS DINÁMICAS SUCESIVAS**

### **3.1 Sistema de defensas dinámicas sucesivas en la ciudad de Guayaquil**

El propósito fundamental de realizar la implementación de defensa dinámicas sucesivas en la ciudad de Guayaquil es brindar protección a los moradores del cerro San Eduardo contra las ya existentes caídas de rocas y flujos de detritos en la zona. En cuanto a esta problemática, los medios de comunicación han dado mayor énfasis a la afección que sufren las vías vehiculares por el desprendimiento, sin embargo, en este trabajo investigativo lo principal es el enfoque social.

El uso de defensas dinámicas sucesivas también contribuye a utilizar tecnologías poco comunes en Ecuador con el fin de ofrecer innovación en el medio local. El funcionamiento de este sistema se basa en detener la trayectoria de los caídos, una vez que estos se desprendan del talud y se empiecen a precipitar a través de las laderas hacia el área poblada del cerro San Eduardo.

Se brindan detalles de forma conceptual y esquemática sobre la implementación del sistema de defensas dinámicas sucesivas en dos zonas del cerro San Eduardo: la primera estará ubicada en la zona poblada frente al Estero Salado, por donde pasa la Av. Barcelona (zona 1); y la segunda en la zona poblada junto al túnel San Eduardo (zona 2).

### **3.2 Defensas dinámicas sucesivas (zona 1)**

#### **3.2.1 Características de los caídos**

##### **3.2.1.1 Peso específico**

Una de las características más importantes a la hora de determinar valores para un correcto cálculo de la energía necesaria para el diseño de las defensas dinámicas es el peso específico del elemento en caída. Para razones de este trabajo investigativo se utilizó el peso específico de una roca compacta con un valor de  $2700 \text{ kg/m}^3$ .

### 3.2.1.2 Volumen

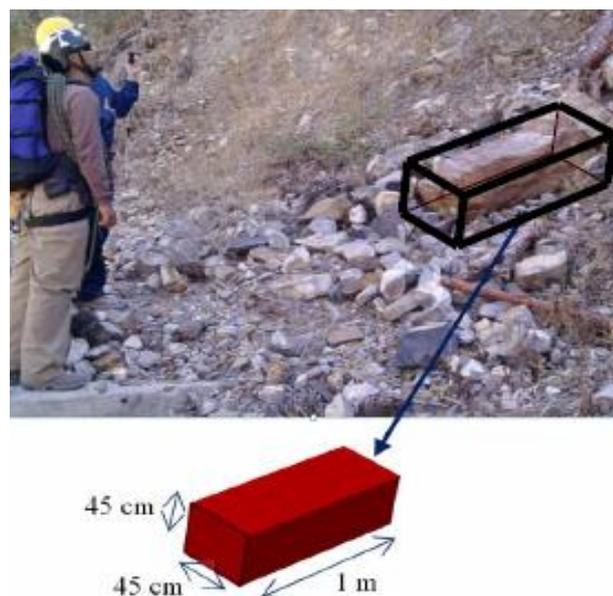
Para determinar la masa del o los elementos que caen es importante determinar el volumen que poseen. Encontrar el volumen de elementos que no tienen una geometría regular es un trabajo que requiere estudios de gran profundidad y realizar mediciones de cada roca que represente un posible desprendimiento, por lo tanto, se consideró un volumen crítico de  $4 \text{ m}^3$  con base en los registros fotográficos y a la posible trayectoria que puedan tener los bloques.

Según Montiel y Zuñiga (2012), estos datos los debe obtener un experto geotécnico a través de un levantamiento geomecánico (por cualquier sistema de clasificación), con lo cual reporten la distribución espacial del macizo rocoso y el estado de las diaclasas o fallas que forman el macizo, además de definir la variación y porcentaje de escombros encontrado en este tamaño de sitio, solo se considera el fragmento más grande.

Debido a lo anterior, se tomó un volumen de acuerdo con las observaciones y datos topográficos obtenidos durante la visita técnica que se hizo al lugar donde se suscita la caída de rocas.

#### Figura 58

*Determinación referencial del volumen de un bloque*



**Fuente:** Montiel y Zuñiga (2012).

### Figura 59

*Forma aproximada de rocas en la zona alta del cerro San Eduardo*



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 3.2.1.3 Masa

Para obtener la masa del elemento se debe realizar la multiplicación entre el peso específico y el volumen, por consiguiente, se tiene la siguiente ecuación:

#### Ecuación 3

$$m = p * Vol = 2700 * 4 = 10800 \text{ kg}$$

Donde:

- m = masa
- p = peso específico
- Vol = volumen

### 3.2.1.4 Velocidad

En las características de los caídos la velocidad es el parámetro final para encontrar la energía necesaria para el diseño de las defensas dinámicas sucesivas. Para ello, se consideraron las condiciones más críticas posibles en la que un elemento viaja mediante una pendiente sin fricción a una altura de 5 m, por ende, se enuncia la ecuación a continuación.

#### Ecuación 4

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 * 9,81 * 5} = 9,9 \text{ m/s}$$

Donde:

- **v** = velocidad del elemento
- **g** = aceleración de la gravedad
- **h** = altura

### 3.2.2 Ubicación

En la zona 1, ubicada junto al Estadio Monumental, frente al Estero Salado, se propone colocar dos defensas dinámicas sucesivas para controlar la caída de rocas hacia la población del lugar: la primera (marcada en color celeste), estará ubicada a 5 m de la zona de desprendimientos en la parte alta del cerro; y la segunda (marcada de color naranja), estará situada a 20 m de distancia de la primera.

**Figura 60**

*Fotografía aérea de la zona amenazada donde se ubicarán las defensas dinámicas sucesivas para caída de rocas*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 61**

*Ubicación satelital de las defensas dinámicas sucesivas para caída de rocas*



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.2.3 Diseño por energía MEL y SEL

Una vez que se tienen los datos básicos de los bloques desprendidos, se procede a realizar el diseño. Por medio de la norma ETAG 027 se enuncia que el diseño es a través de la energía requerida para que las defensas soporten el impacto del bloque y no se presenten daños ni inconsistencias en el sistema planteado.

El primer paso es determinar la energía que poseen las rocas caídas, para lo cual fue necesario utilizar la ecuación de la energía traslacional, que se expone a continuación.

#### Ecuación 5

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} * 10800 * 9,9^2 = 529,25 \text{ kJ (MEL)}$$

Donde:

- K = energía traslacional de los caídos
- m = masa
- v = velocidad

El valor de la ecuación de energía corresponde a la energía MEL, debido a **que**, dentro de las pruebas de cargas, la energía MEL representa el caso más crítico, por el cual se realizó el diseño con base en los parámetros más riesgosos posibles en la zona de estudio.

Una vez se encuentra el requerimiento de energía para las defensas dinámicas sucesivas, se procede a utilizar la norma ETAG 027 para escoger la clasificación de defensas de acuerdo con la energía.

**Tabla 6.**

*Clases de kit de protección contra la caída de rocas*

Clasificación de nivel de energía	0	1	2	3	4	5	6	7	8
SEL	-	85	170	330	500	660	1000	1500	> 1500
MEL ≥	100	250	500	1000	1500	2000	3000	4500	> 4500

**Fuente:** “ETAG 027”, elaborado por: European Organisation for Technical Approvals (2013).

En concordancia con la ecuación de energía determinada, donde se obtuvo que  $K = 529,25 \text{ kJ}$ , se pueden escoger las defensas de tipo 3 que cuentan con energía MEL de 1000 kJ y SEL de 330 kJ. Bajo estos parámetros es posible notar que la energía MEL de las defensas escogidas es superior al volumen de roca que impactará.

### **3.2.4 Dimensionamiento de las defensas dinámicas sucesivas**

#### **3.2.4.1 Altura**

La altura nominal de cada defensa dinámica será de 4 m, dado que esta medida es óptima dentro de lo comercial. Por otro lado, la altura residual de las defensas corresponde al 60 % de la altura nominal, es decir, 2,4 m.

#### **3.2.4.2 Ancho**

El ancho de cada defensa será con base en los perfiles topográficos que se obtuvieron en la visita técnica, por lo cual se propone un ancho de 12 m entre postes.

#### **3.2.4.3 Postes**

Se utilizarán cuatro perfiles H 200 por su torsión y resistencia a la flexión.

#### **3.2.4.4 Cables**

Se emplearán cables de soporte de acero de 22 mm de diámetro y cables de retención al suelo de 22 mm. Además, se colocarán cables de refuerzo a la red de anillos de 10 mm de diámetro, los cuales resisten 1770 Mpa.

#### **3.2.4.5 Malla argollas deformables**

Se utilizará una red de anillos de acero de alta resistencia de 300 mm de diámetro cada anillo y cables con diámetro de 10 mm, así como alambres de 3 mm de diámetro con una resistencia a la tensión de 1770 Mpa.

#### **3.2.4.6 Malla adicional de argollas deformables**

Se colocará una malla hexagonal de doble torsión con alambre de 3 mm de diámetro, reforzado como cables de acero colocados de manera longitudinal de 7 mm de diámetro. Estos soportan esfuerzos de tensión de hasta 1770 Mpa.

### **3.2.4.7 Cáncamos**

Se emplean para conectar los paneles de anillos en cables de 22 mm, aunque en ocasiones se utilizan como refuerzos.

### **3.2.4.8 Cimentación**

Para los cables de anclaje se usará una perforación con mortero y una cimentación de hormigón para el sistema.

### **3.2.4.9 Anclajes**

Los cables de soporte van anclados al suelo o a la roca, en el caso del Cerro San Eduardo a través de cables de anclaje en forma de espiral. Para los cables de retención al suelo se utilizarán los Tipo II de 14,5 mm de diámetro, para los de tensión lateral se usarán los Tipo III de 18,5 mm de diámetro y para los cables de soporte se emplearán los Tipo IV de 22,5 mm de diámetro.

### **3.2.4.10 Disipador de energía o atenuador simple**

Se usarán disipadores de energía de aluminio en forma tubular con 30 mm de diámetro.

## **3.2.5 Factor de seguridad**

Una vez se determina la energía de caída de las rocas y la capacidad de las defensas dinámicas escogidas, se procede a precisar el factor de seguridad con la Ecuación 1.

### **Ecuación 6**

$$FS = \frac{Qm}{Qr} = \frac{1000 \text{ kJ}}{529,25 \text{ kJ}} = 1,89$$

De acuerdo con lo que se estableció en el Capítulo II, el factor de seguridad debe ser superior a 1,5, por lo tanto, se puede señalar que el factor de seguridad que proveen las defensas es satisfactorio.

A través del segundo método, el factor de seguridad es el siguiente:

### **Ecuación 7**

$$FS = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot (f_5 \cdot f_6)^2 = (1,1)(1,2)(1,05)(1,07)(1,07 * 1,07)^2 = 1,83$$

## **3.3 Defensas dinámicas sucesivas (zona 2)**

### **3.3.1 Características de los caídos y flujo de detritos**

Para el diseño e instalación de las defensas dinámicas sucesivas se tendrá un enfoque direccionado no solo a la caída de rocas, sino también al flujo de detritos, el cual se puede presentar en las diversas zonas de desprendimientos. Además, en época de lluvias en la ciudad de Guayaquil se pueden dar estos flujos. Según Brea et al. (2005), un flujo de escombros consiste en una mezcla de materiales detríticos, que incluye cantos rodados, troncos, entre otros. Por consiguiente, será necesario determinar la presión dinámica que ejerce el flujo de detritos para seleccionar un tipo de defensa.

#### **3.3.1.1 Peso específico**

Para el peso específico se tomará el mismo de la zona 1, es decir, 2700 kg/cm<sup>3</sup>, debido a que el enfoque principal que se le darán a los detritos son las rocas.

### 3.3.1.2 Volumen

En base a que el flujo de detritos está compuesto no solo de rocas, sino de tierras y otros elementos, se tomará un volumen máximo de 12 m<sup>3</sup> luego de los datos topográficos obtenidos en la visita técnica.

### 3.3.1.3 Masa

La masa se puede hallar a través de la multiplicación del peso específico por el volumen, por lo cual se obtendrá la siguiente masa:

#### Ecuación 8

$$m = p * Vol = 2700 * 12 = 32400 \text{ kg}$$

### 3.3.1.4 Densidad

Una vez que se obtienen los datos de la masa y el volumen se puede determinar la densidad a través de la siguiente ecuación:

#### Ecuación 9

$$d = \frac{m}{Vol} = \frac{32400}{12} = 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 2,7 \text{ Ton/m}^3$$

El dato de la densidad es muy importante para precisar la presión dinámica del flujo y, además, los valores de densidad de flujo de detritos van entre 2000 a 2700 kg/cm<sup>3</sup> (Cornejo Falcon & Mañuico Pérez , 2021).

### 3.3.1.5 Velocidad

Para encontrar la velocidad se considerarán las condiciones más críticas posibles en la que un elemento viaja a través de una pendiente sin fricción a una altura de 3 m, por ende, se enuncia la ecuación a continuación:

### **Ecuación 10**

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 * 9,81 * 3} = 7,67 \text{ m/s}$$

#### **3.3.2 Ubicación**

En la zona 2, ubicada junto a la entrada del sur del túnel San Eduardo, se propone situar cuatro defensas dinámicas sucesivas para controlar el flujo de detritos hacia la población que está en el lugar. Cada defensa se pondrá de forma sucesivas a lo largo del curso de agua y escurrimientos (marcado en color celeste). La primera defensa estará ubicada a 3 m de la acumulación de detritos, mientras que la segunda tendrá una separación de 50 m con respecto a la primera. Por su parte, la tercera defensa contará una distancia de 50 m en contraste con la segunda; y la última defensa tendrá una separación de 50 m con respecto a la tercera.

El objetivo de la ubicación de las defensas dinámicas en la forma propuesta radica en brindar protección contra caída de rocas y acumulación de detritos a las viviendas y al parque comunitario de la zona baja del cerro.

**Figura 62**

*Mapa de escurrimientos y cursos de agua del cerro de la zona 2*

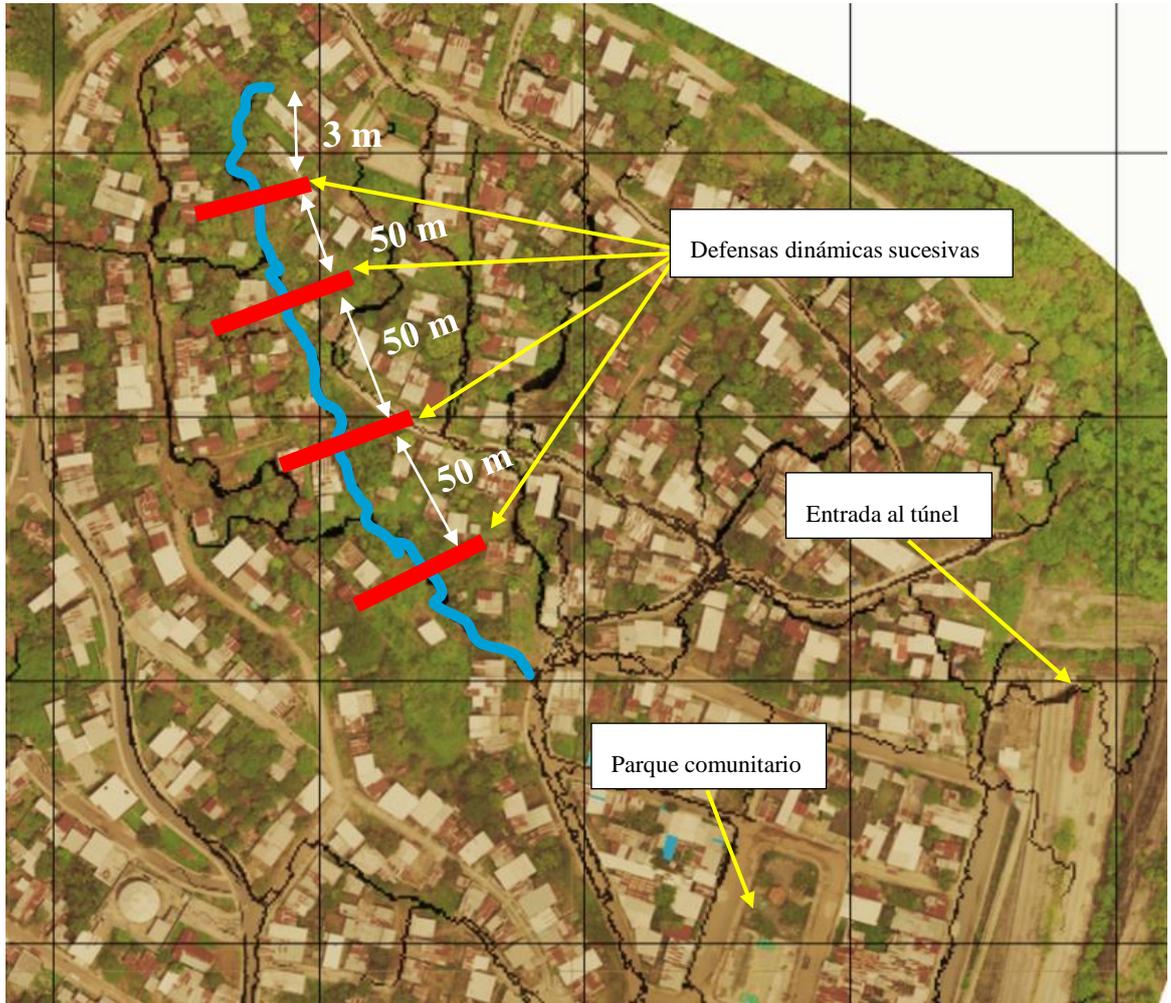


**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura 57 se observan líneas de color negro que representan los flujos presentes en el cerro, así pues, se pueden visualizar algunas de mayor grosor que hacen referencia a que en esos lugares la acumulación de flujos será más grande.

**Figura 63**

Ubicación de las defensas dinámicas sucesivas para flujo de detritos



**Fuente:** Elaboración propia.

## Figura 64

Ubicación satelital de las defensas dinámicas sucesivas para flujo de detritos.



Fuente: Adaptado de Google Earth Pro.

### 3.3.3 Diseño por resistencia a la presión dinámica

El parámetro principal para escoger las defensas dinámicas sucesivas es determinar el valor de la presión dinámica que ejercerá el flujo. Ahora bien, la presión dinámica es una medida de fuerza por unidad de área en elementos fluidos en movimiento, en este caso en el flujo de detritos, y se puede encontrar a través de la siguiente ecuación.

#### Ecuación 11

$$p_D = \frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{1}{2} (2,7)(7,67)^2 = 79,42 \text{ kN/m}^2$$

Donde:

- Pd = presión dinámica
- d = densidad
- v = velocidad

Dado el resultado de  $79,42 \text{ kN/m}^2$ , se optará por elegir defensas dinámicas sucesivas de  $140 \text{ kN/m}^2$  para obtener un factor de seguridad óptimo.

### **3.3.4 Dimensionamiento de las defensas dinámicas sucesivas**

#### **3.3.4.1 Altura**

La altura nominal de cada defensa dinámica será de 4 m, debido a que esta medida es óptima en lo comercial.

#### **3.3.4.2 Ancho**

El ancho de cada defensa será con base en los perfiles topográficos obtenidos en la visita técnica, por lo cual se propone un ancho de 12 m.

#### **3.3.4.3 Postes**

Se utilizarán dos perfiles H 200 por su resistencia a la flexión y torsión con una altura de 4 m.

#### **3.3.4.4 Cables**

Se emplearán cables de soporte de acero de 22 mm de diámetro, cables de retención de 22 mm y cables de borde de 22 mm. Además, se colocarán protectores contra la abrasión de  $100 \times 100 \text{ mm}$  sobre los cables de soporte.

#### **3.3.4.5 Malla argollas deformables**

Se utilizará una red de anillos de acero de alta resistencia de 300 mm de diámetro cada anillo y cables con diámetro de 15 mm, así como alambres de 3 mm de diámetro con una resistencia a la tensión de 1770 Mpa.

#### **3.3.4.6 Cárcamos**

Se emplean para conectar los paneles de anillos en cables de 22 mm, aunque en ocasiones se utilizan como refuerzos.

#### **3.3.4.7 Cimentación**

Para los cables de anclaje se usará una perforación con mortero en los taludes laterales y una cimentación de hormigón para el sistema.

#### **3.3.4.8 Anclajes**

Los cables de soporte van anclados al suelo o a la roca en el caso del cerro San Eduardo a través de cables de anclaje en forma de espiral. Para los cables de retención al suelo y de soporte se utilizarán los Tipo IV de 22,5 mm de diámetro.

#### **3.3.4.9 Disipador de energía o anillos de freno**

Se emplearán anillos de frenado de 600 mm de diámetro y espesor de 10 mm para disipar la energía del sistema que irán junto a los cables de retención, de soporte y de borde.

#### **3.3.5 Factor de seguridad**

Una vez se determina la energía de caída de las rocas y la capacidad de las defensas dinámicas escogidas, se procede a precisar el factor de seguridad con la Ecuación 1.

### **Ecuación 12**

$$FS = \frac{Qm}{Qr} = \frac{160 \frac{kN}{m^2}}{79,42 \frac{kN}{m^2}} = 2,02$$

De acuerdo con lo que se planteó en el Capítulo II, el factor de seguridad debe ser superior a 1,5, por lo tanto, se puede establecer que el factor de seguridad que proveen las defensas es satisfactorio.

A través del segundo método, el factor de seguridad es el siguiente:

### **Ecuación 13**

$$FS = f_1 \cdot f_2 \cdot f_5 \cdot f_6 \cdot (f_3 \cdot f_4)^2 = (1,1)(1,2)(1,05)(1,07)(1,07 * 1,07)^2 = 1,83$$

## **3.4 Proceso para la instalación de las defensas dinámicas sucesivas**

### **3.4.1 Replanteo del terreno**

Para empezar el trabajo de campo es importante realizar un replanteo de la zona donde se planea ubicar las defensas dinámicas sucesivas. El replanteo se puede modificar dependiendo de las condiciones del terreno, sin embargo, se debe dar prioridad a las dimensiones de las defensas que se establecieron en el diseño. Dentro del replanteo del terreno es necesario realizar la marcación de los puntos de perforación para referenciarlos de la mejor manera y que se puedan hacer las perforaciones de forma correcta.

## **Figura 65**

*Replanteo de la zona y marcación de puntos de perforación*



**Fuente:** Crispín (2017).

### **3.4.2 Comienzo de las perforaciones**

Luego de que los puntos de perforación se marcaron de manera correcta, se procede a realizarlos con perforadoras de acero. Primero se hacen las perforaciones en los taludes y luego las perforaciones para ubicar los postes en los puntos marcados.

## **Figura 66**

*Marcación y perforación de puntos de anclaje*



**Fuente:** Crispín (2017).

### 3.4.3 Preparación de mortero para la ubicación de los pernos

Una vez se realizan las perforaciones, se procede a preparar el mortero que se pondrá en las perforaciones con la finalidad de embeber los pernos de anclaje. Luego se ubican los anclajes determinados en el diseño.

#### Figura 67

*Elaboración de mezcla para anclajes*



**Fuente:** Crispín (2017).

### 3.4.4 Colocación de elementos adicionales en los pernos y elaboración de la cimentación

Luego de que el mortero logre fraguar, se colocan accesorios en los pernos, los cuales sirven de conectores con los cables que se ponen en las defensas. Posterior a eso, se empieza a construir la cimentación de los postes que se elaborará con base en perforaciones en el suelo donde se pondrá hormigón.

### **Figura 68**

*Instalación de pernos y elementos adicionales*



**Fuente:** Crispín (2017).

### **3.4.5 Colocación de elementos adicionales para los cables de anclaje**

Previo a que se instalen los postes, se colocan los sujetacables y los disipadores de energía que se seleccionaron.

### **Figura 69**

*Instalación de cables y accesorios*



**Fuente:** Crispín (2017).

### 3.4.6 Colocación de postes

La colocación de los postes se lleva a cabo por medio de izado con ayuda de los cables de anclaje y los cables horizontales. Para esta labor se utiliza personal encargado de verificar la correcta instalación entre el poste y la cimentación.

#### Figura 70

*Instalación de postes*



**Fuente:** Crispín (2017).

### 3.4.7 Instalación de red de anillos y mallas

Cuando se colocan los cables, se procede a instalar la red de anillos que soportara la caída de rocas y flujo de detritos. La red de anillos estará sujeta mediante cárcamos en los cables horizontales, además de instalar la malla de acero de alta resistencia en el caso de las defensas de la zona 1. Como paso final se procede a estirar la red y la malla para cubrir toda el área entre postes, y se fija correctamente para finalizar con el proceso.

## **Figura 71**

*Implementación de una malla argollas deformables*



**Fuente:** Crispín (2017).

### **3.5 Seguridad del sistema**

Debido al alto índice de inseguridad que existe en la ciudad de Guayaquil, específicamente en la zona del cerro San Eduardo, es necesario estar preparado ante cualquier circunstancia social que vulnere la seguridad del sistema. Por esta razón, se hace necesario instalar guardianía en el lugar para brindar vigilancia y control al correcto funcionamiento de las defensas. Además, resultaría conveniente que se informe a los moradores sobre la necesidad de involucrarse con el cuidado y mantenimiento de las defensas, y que en caso de que se suscite algún altercado que vulnere la seguridad de las estructuras, los habitantes puedan comunicar a unidades policiales para que acudan al sector.

### **3.6 Ventajas y desventajas del sistema**

#### **3.6.1 Ventajas**

- Fácil instalación y elaboración de defensas dinámicas.
- Sistema óptimo para controlar y mitigar caídos de rocas.

- Estructura y materiales ligeros.
- Materiales fáciles de encontrar en el mercado nacional.
- Facilidad de reemplazo de piezas en caso de daños.
- No se necesita gran cantidad de mano de obra.
- Estructura apta para zonas de difícil acceso.
- Bajo impacto ambiental, debido a que su instalación no requiere maquinaria pesada.
- Sistema automatizado y fácil de mantener
- Idea innovadora y poco conocida que se puede implementar en varios sitios de Ecuador.

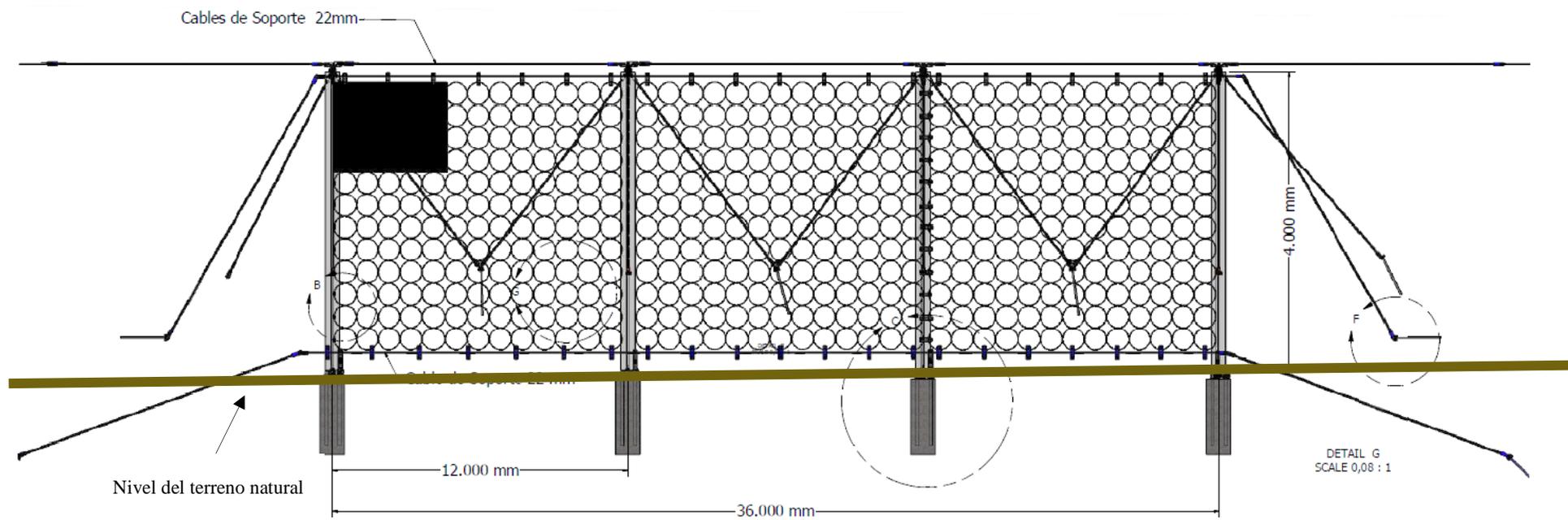
### **3.6.2 Desventajas**

- Revisiones periódicas de las condiciones de los elementos que componen las defensas.
- Necesidad de realizar estudios para estimar la trayectoria de caídas de rocas por la alta meteorización del macizo rocoso.
- Se debe extraer el material desprendido de las defensas.

### 3.7 Esquemas y croquis

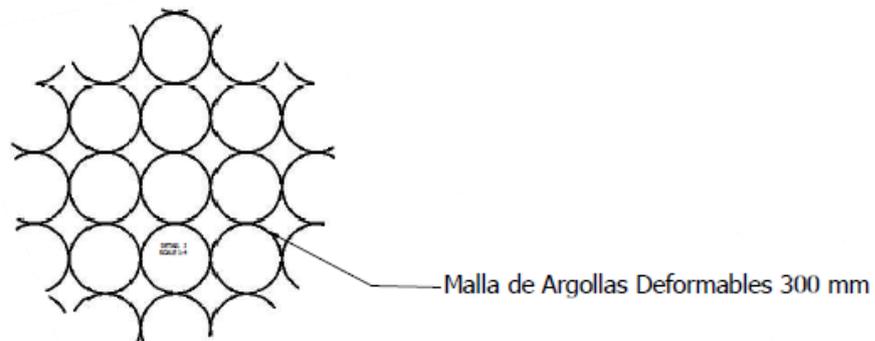
#### 3.7.1 Defensas dinámicas sucesivas para caída de rocas en la zona 1

**Figura 72** Esquema completo de una defensa dinámicas sucesiva para caída de rocas en la zona 1



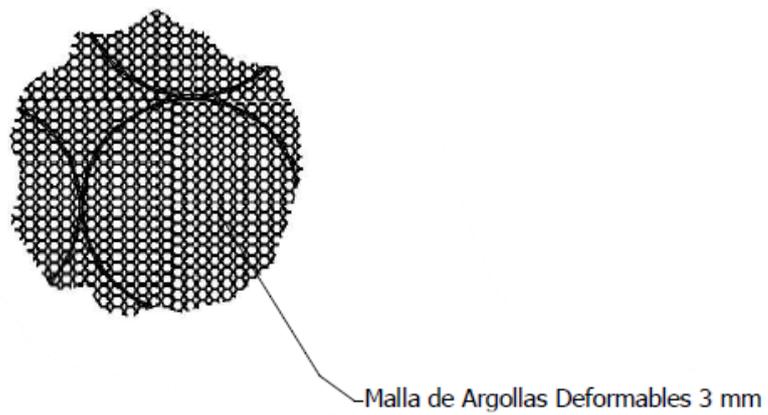
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 73** *Detalle de malla de retención para caída de rocas*



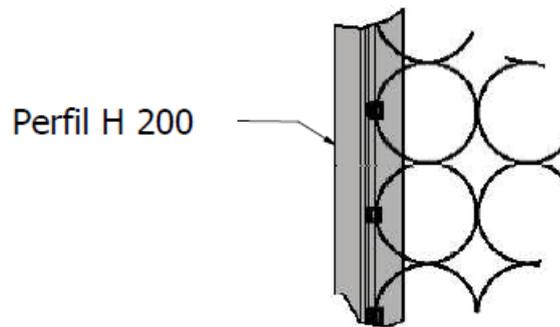
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 74** *Detalle malla adicional para retener pequeñas partículas desprendido de caídos*



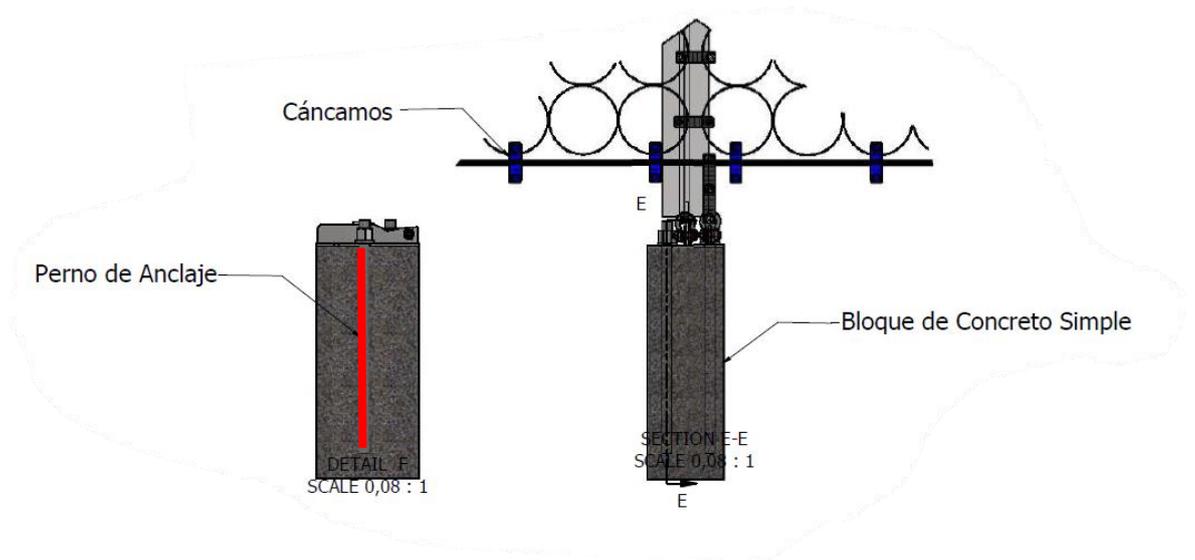
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 75** Detalle de perfil escogido como poste.



**Fuente:** Elaboración propia.

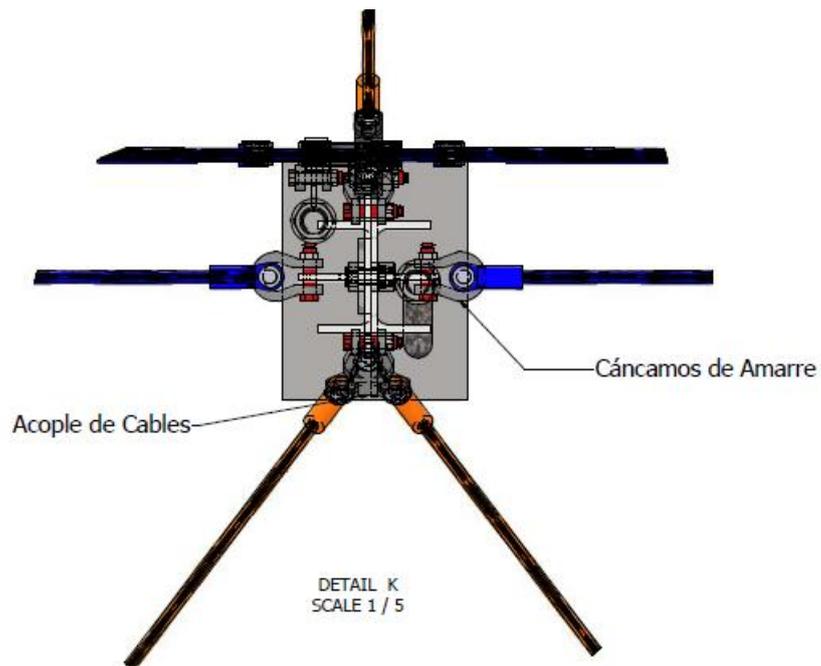
**Figura 76** Detalle de cimentación: pernos de anclajes puestos en bloques de mortero



**Fuente:** Elaboración propia.

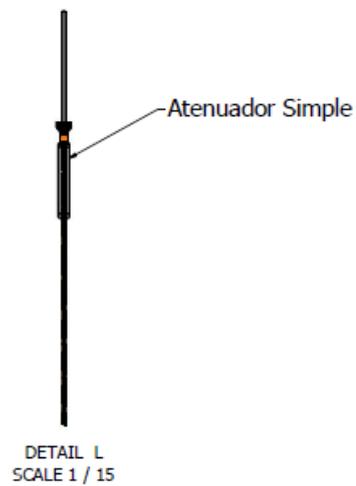


**Figura 78** *Detalle de acople de cables a través de cáncamos*



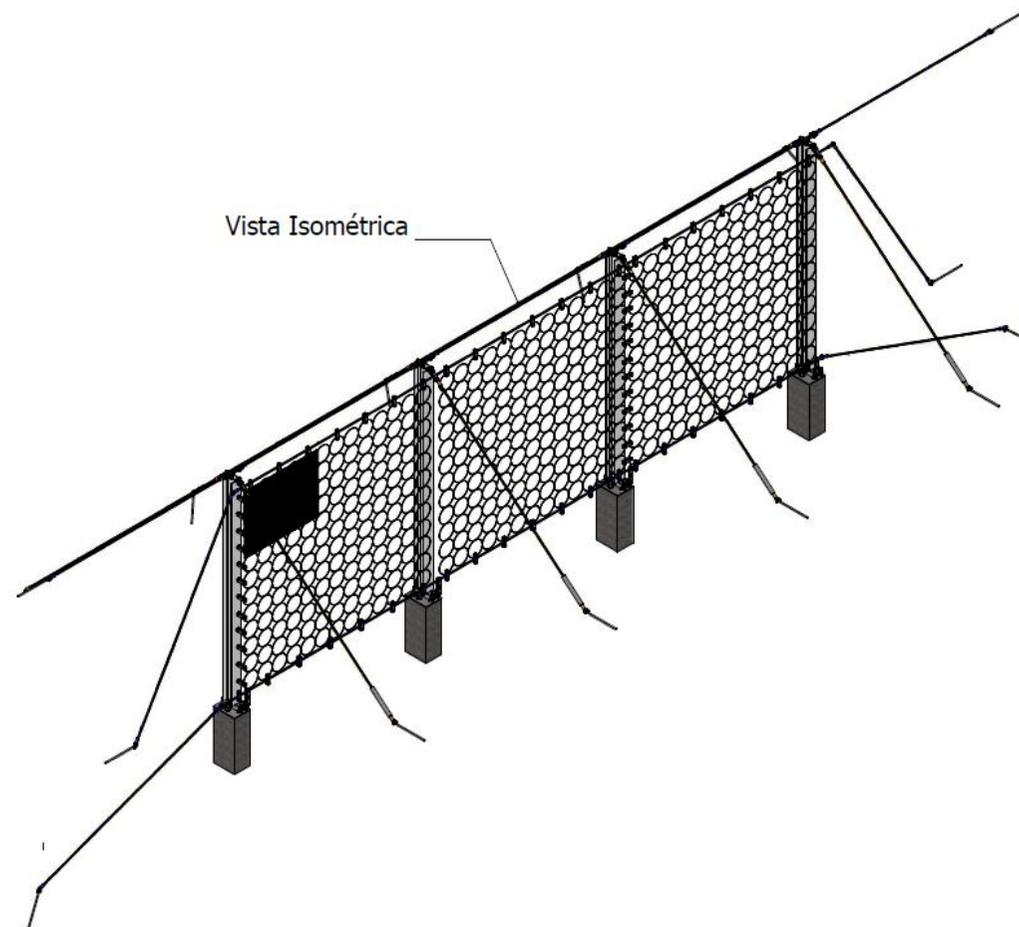
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 79** *Esquema de atenuador tubular simple como disipador de energía del sistema*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 80** *Vista isométrica del esquema de la defensa dinámica*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 81** *Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para caída de rocas*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 82** *Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para caída de rocas*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 83** *Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para caída de rocas*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 84** *Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para caída de rocas*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 85** *Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para caída de rocas*



**Fuente:** Elaboración propia.

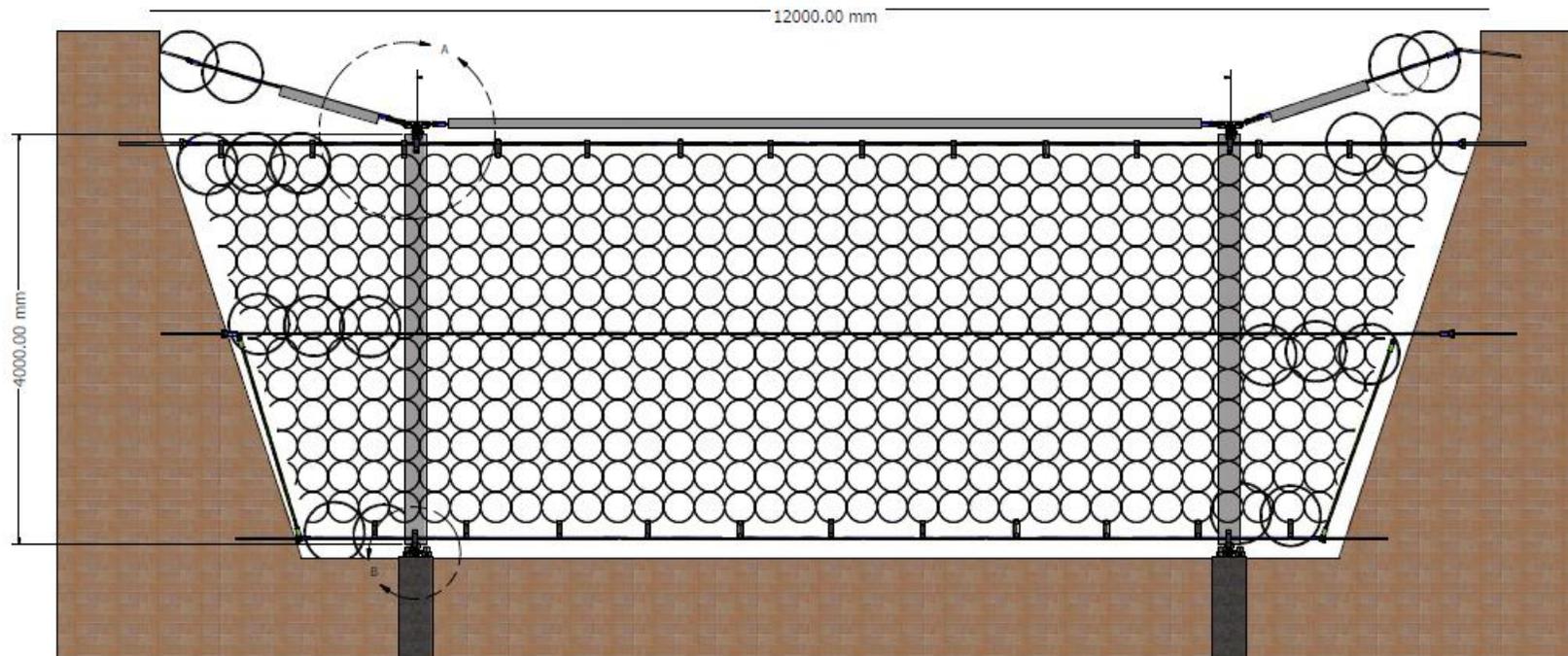
**Figura 86** *Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para caída de rocas*



**Fuente:** Elaboración propia.

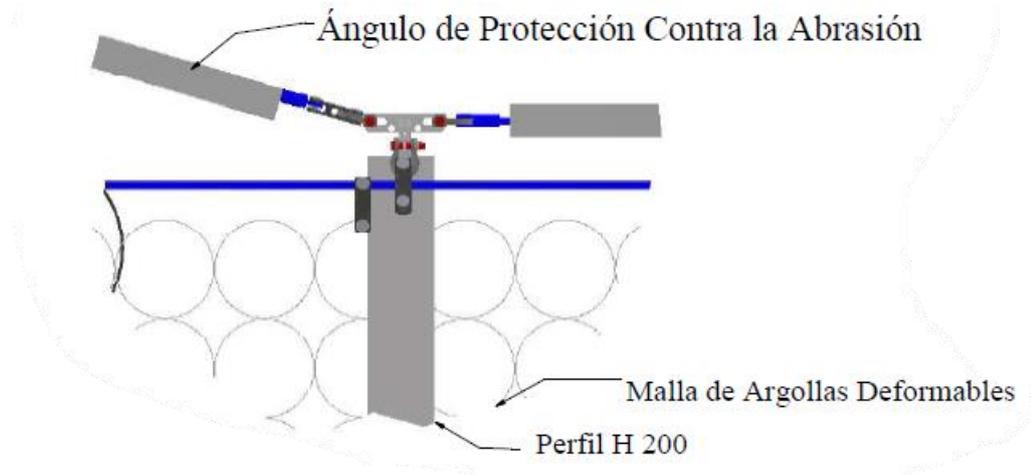
### 3.7.2 Defensas dinámicas sucesivas para flujo de detritos en la zona 2

**Figura 87** Esquema completo de una defensa dinámica sucesiva para flujo de detritos en la zona 2



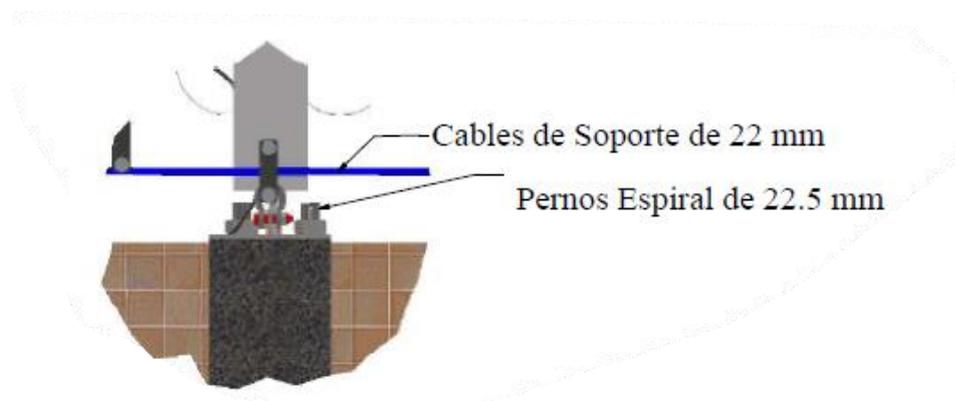
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 88** Detalle de malla de anillos deformables, perfil seleccionado para el poste y ángulo puesto encima del cable de soportar para brindar protección contra la abrasión



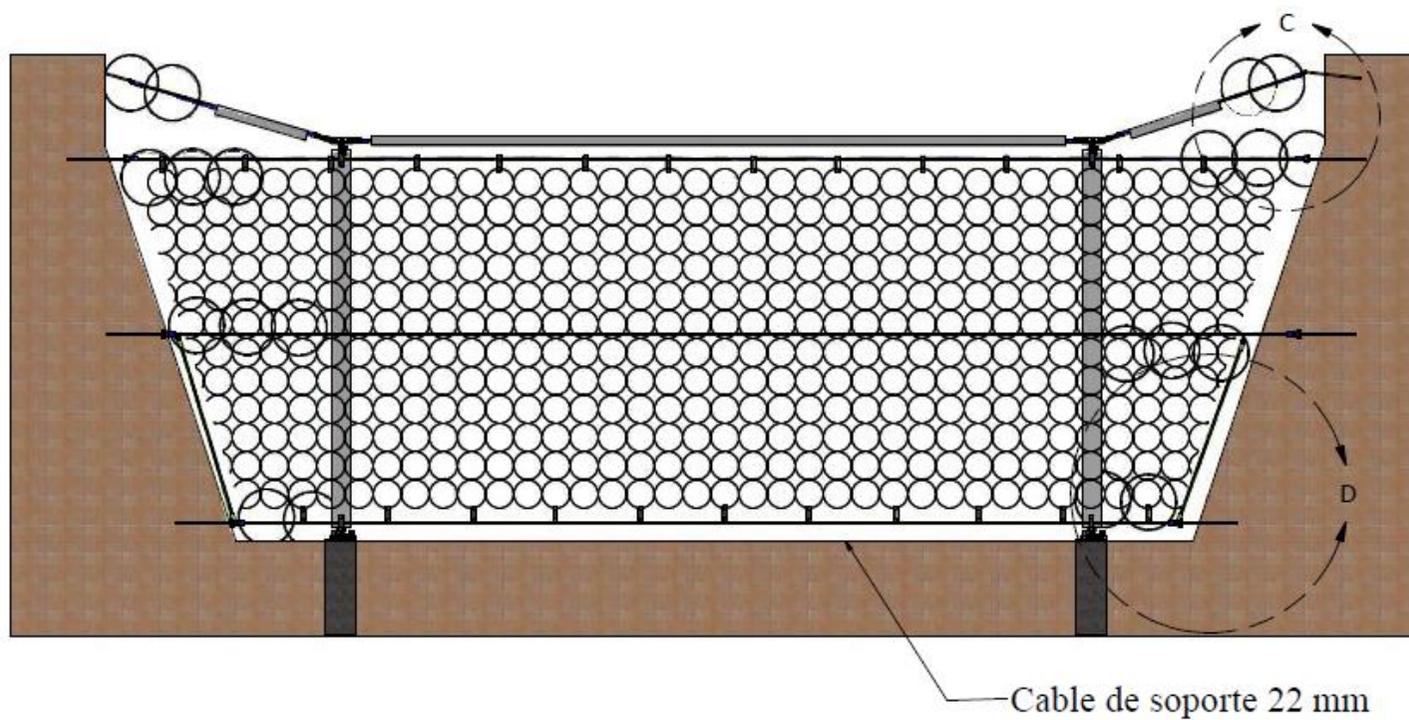
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 89** Detalle de cable de soporte inferior y tipo de pernos de anclaje



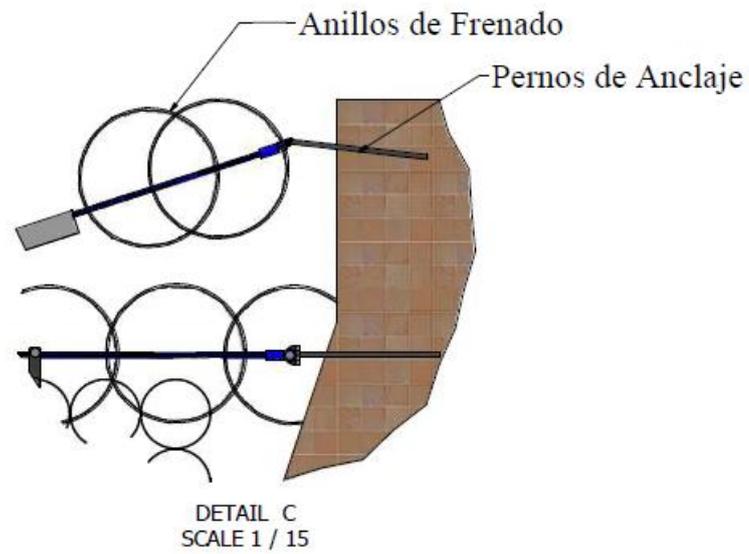
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 90** Vista frontal de defensa dinámica para flujo de detritos



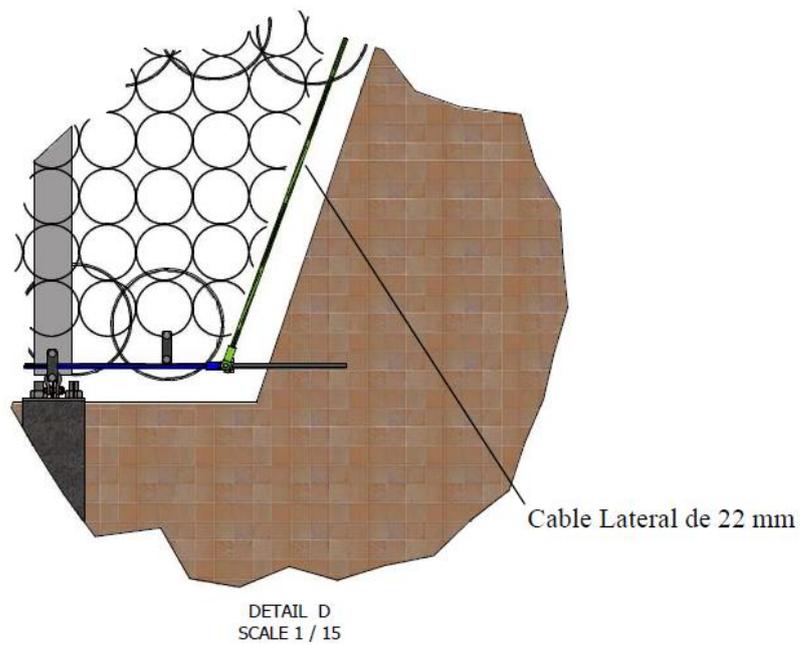
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 91** *Detalle de ubicación de anillos de freno como disipador de energía y pernos de anclajes colocados en los taludes laterales*



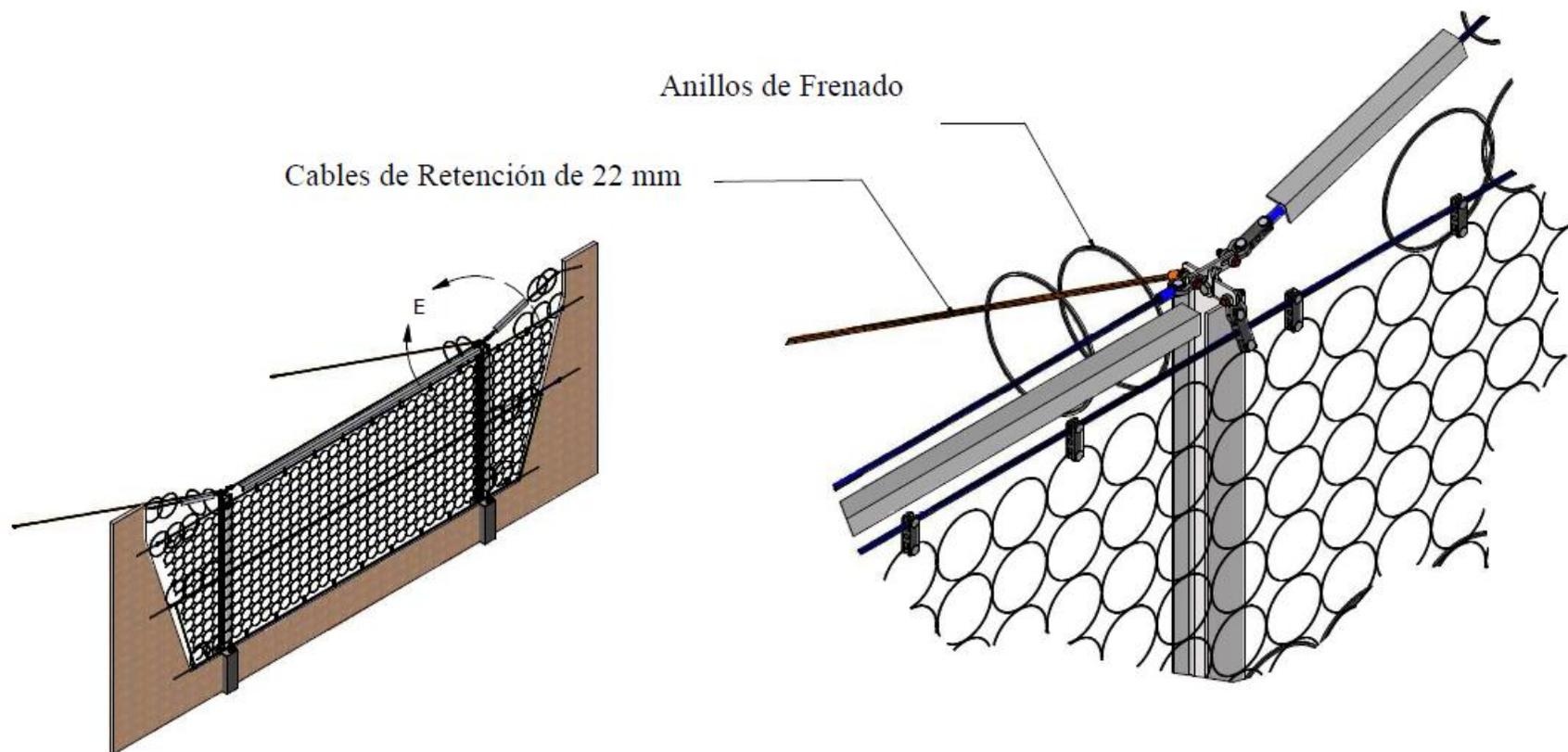
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 92** *Anillos de freno puestos en la parte inferior*



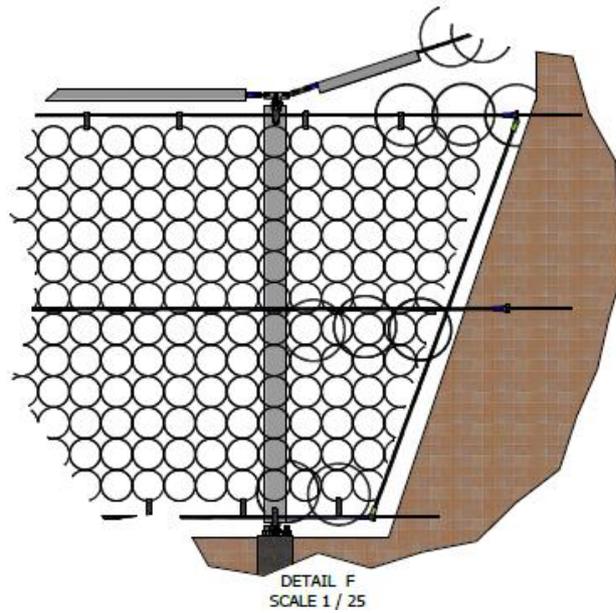
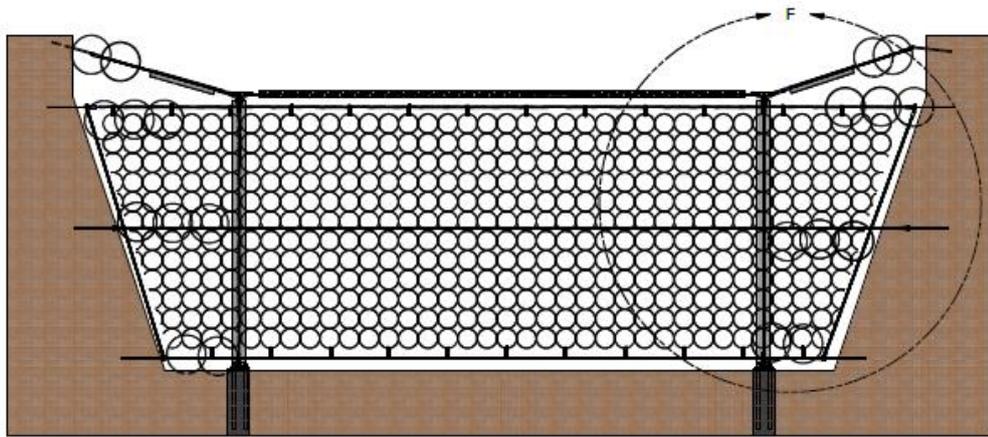
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 93** Vista isométrica de la ubicación de los anillos de frenado y los cables de retención



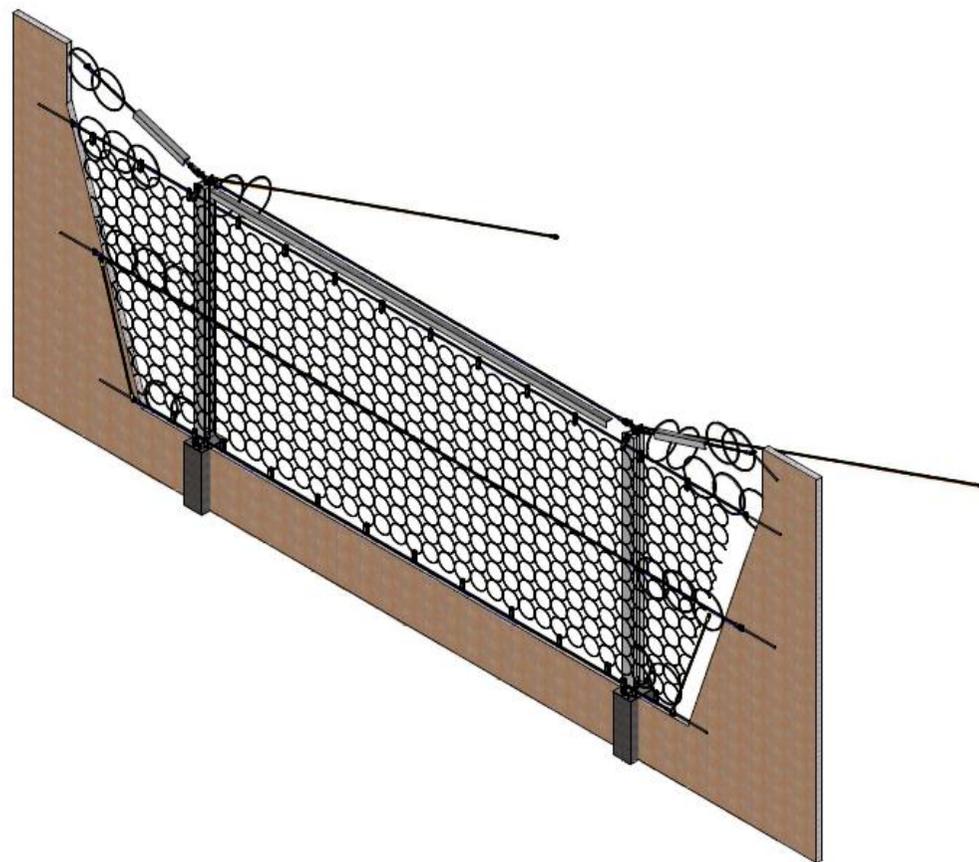
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 94** Vista ampliada de la malla de anillos, cables, protección contra la abrasión y anillos de frenado



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 95** *Vista isométrica de la defensa dinámica sucesiva*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 96** *Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para flujo de detritos*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 97** *Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para flujo de detritos*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 98** *Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para flujo de detritos*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 99** *Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para flujo de detritos*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 100** Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para flujo de detritos



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 101** *Vista esquemática de las defensas dinámicas sucesivas para flujo de detritos*



**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.8 Conclusiones**

Fue realizado un estudio con dos alternativas de Defensas Dinámicas Sucesivas, una para el cerro San Eduardo Túnel y la otra para el cerro San Eduardo Barcelona. Se analizó en el sitio el mecanismo de caída de rocas.

Los dos prototipos propuestos fueron adaptados a la Geotecnia de los cerros San Eduardo y a la Topografía, brindando énfasis al Proyecto de Vinculación que mantiene la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil con estas comunidades y con el M.I. Municipio de Guayaquil.

Se ha presentado de manera esquemática, las principales directrices de funcionamiento de los dos prototipos, tomando a consideración los problemas socio ambientales de los moradores de San Eduardo, los fenómenos naturales como la Meteorización, las lluvias y los sismos. La Propuesta consideró la Normativa vigente para este tipo de obras livianas, económicas y sismorresistentes.

### **3.9 Recomendación**

Se sugiere estudiar como alternativa de estabilización, el uso de anclajes postensados con elementos prefabricados y la técnica de Suelo Claveteado o Soil Nails.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ahlburg. (1870). *Road Construction* .
- Anon. (1995). The description and classificatioin of weathered rocks for engineering purposes. En *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* (págs. 207-242). Geological Society Engineering Group Workin Party. Obtenido de <https://pubs.geoscienceworld.org/qjegh/article-abstract/28/3/207/336337/The-description-and-classificatioin-of-weathered?redirectedFrom=fulltext>
- Arévalo, J. (2021). *Caracterización geológica de los cerros San Eduardo y Bellavista, Guayaquil-Ecuador*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/51081>
- Argudo, J., Mera, W., y Villacrés, A. (1999). Historia de la vulnerabilidad, estimación de pérdidas y recomendaciones para reducir riesgo sísmico de edificaciones en Guayaquil. En *Proyecto Radius* (Vol. III, págs. 56-57). Guayaquil: Universidad Católica Santiago de Guayaquil - Instituto de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería. Obtenido de <https://www.jaimeargudo.com/wp-content/uploads/2011/04/RADIUS-VOLUMEN-III-ESTUDIO-VULNERABILIDAD-EDIFICACIONES.pdf>
- Asamblea Nacional. (2008). Constitución Nacional de la República del Ecuador. Decreto Legislativo 0. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador.pdf>
- Bañon Blázquez, L., y Beviá García, J. (2000). *Manual de Carreteras* (Vol. II). Alicante, España: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A. Obtenido de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/1787?mode=simple>
- Bar, N., Ryan, C., Nicoll , S., y Pothitos, F. (2016). Evaluating and Managing Rock Fall Risk for Steep Rock Slopes. *XV Symposium on Engineering Geology and Geotechnics* (págs. 412-413). Belgrado: Society of Geological Engineers and Technicians of Serbia. Obtenido de

[https://www.researchgate.net/publication/309571027\\_Evaluating\\_and\\_managing\\_rock\\_fall\\_risk\\_for\\_steep\\_rock\\_slopes](https://www.researchgate.net/publication/309571027_Evaluating_and_managing_rock_fall_risk_for_steep_rock_slopes)

- Brea, J., Spalletti, L., Hopwood, H., y Spalletti, P. (2005). Conceptos y Aplicaciones Sobre Flujos Densos en la Hidráulica de Ríos. *Ingeniería del Agua, XII*, págs. 1-12.
- Chimal, L. (2012). *Barreras Dinámicas a base de Materiales Convencionales Para el Control de Caídas de Rocas*. Ciudad universitaria: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Consejo Universitario de la UCSG. (2019). Estatuto de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil. Obtenido de [https://www.ucsg.edu.ec/wp-content/uploads/transparencia/ESTATUTO\\_2019.pdf](https://www.ucsg.edu.ec/wp-content/uploads/transparencia/ESTATUTO_2019.pdf)
- Cornejo Falcon, B., y Mañuico Pérez, B. (2021). *Análisis del comportamiento de barreras flexibles mediante la variabilidad de parámetros de energía y localización como medida de diseño para la contención de flujo de detritos en la quebrada primero de mayo –Lurigancho Chosica*. Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Obtenido de [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/655331/CornejoF\\_B.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/655331/CornejoF_B.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Crispín, J. (2017). *Diseño, Implementación y Construcción de Barreras Dinámicas en la Quebrada Carosio – Chosica*. Lima, Peru: Universidad Nacional Agraria La Molina. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3531/crispin-huamani-jose-antonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- de Miranda, S., Gentilini, C., Gottardi, G., Mentani, A., y Francesco, U. (2015). *Virtual testing of existing semi-rigid rockfall protection barriers*. Engineering Structures 85. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/270397914\\_Virtual\\_testing\\_of\\_existing\\_semi-rigid\\_rockfall\\_protection\\_barriers](https://www.researchgate.net/publication/270397914_Virtual_testing_of_existing_semi-rigid_rockfall_protection_barriers)
- Diario El Universo. (16 de septiembre de 2019). Desde hoy se realizan trabajos en túneles San Eduardo. *El Universo*, págs. <https://www.eluniverso.com/guayaquil/2019/09/16/nota/7520575/hoy-se->

cierran-tuneles-san-  
eduardo/#:~:text=A%20las%2009%3A00%20de,t%C3%BAneles%20del%20  
cerro%20San%20Eduardo. Obtenido de  
[https://www.eluniverso.com/guayaquil/2019/09/16/nota/7520575/hoy-se-  
cierran-tuneles-san-eduardo/](https://www.eluniverso.com/guayaquil/2019/09/16/nota/7520575/hoy-se-cierran-tuneles-san-eduardo/)

Diario El Universo. (26 de agosto de 2020). Caída constante de piedras causa  
inconvenientes en ruta a túneles San Eduardo, en Guayaquil. Obtenido de  
[https://www.eluniverso.com/guayaquil/2020/08/26/nota/7954990/caida-  
constante-piedras-causa-inconvenientes-ruta-tuneles-san/](https://www.eluniverso.com/guayaquil/2020/08/26/nota/7954990/caida-constante-piedras-causa-inconvenientes-ruta-tuneles-san/)

Diario El Universo. (7 de Febrero de 2022). Se registró un desprendimiento de rocas  
en el cerro San Eduardo, oeste de Guayaquil. *El Universo*, pág.  
<https://n9.cl/eq9fx>. Obtenido de  
[https://www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad/se-registro-el-  
desprendimiento-de-rocas-en-el-cerro-san-eduardo-oeste-de-guayaquil-nota/](https://www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad/se-registro-el-desprendimiento-de-rocas-en-el-cerro-san-eduardo-oeste-de-guayaquil-nota/)

European Organisation for Technical Approvals. (2013). *ETAG 027: Guideline for  
European technical approval of fallin rock protection kits*. Bruselas:  
European Organisation for Technical Approvals. Obtenido de  
[https://www.eota.eu/sites/default/files/uploads/ETAGs/etag-027-april-  
2013.pdf](https://www.eota.eu/sites/default/files/uploads/ETAGs/etag-027-april-2013.pdf)

Geber, W. (2001). *Guideline for the approval of rockfall protection kits*. Suiza: Swiss  
Agency for the Enviroment, Forest and Landscape and the Swiss Federal  
Research Institute.

Geobrugg. (2012). *Estabilización y control de la erosión de taludes y laderas  
inestables, con respeto al medio ambiente*. Obtenido de  
[https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/16483/  
Geobrugg-AG\\_TECCO\\_es.pdf](https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/16483/Geobrugg-AG_TECCO_es.pdf)

Geobrugg. (2018). *Protección contra caída de rocas*. Ende - Detusoko National  
Road, ID: Geobrugg. Obtenido de [https://www.geobrugg.com/es/Ende-  
Detusoko-National-Road-161171.html](https://www.geobrugg.com/es/Ende-Detusoko-National-Road-161171.html)

Gonzáles de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., y Otero, C. (2002). *Ingeniería  
Geológica*. Madrid: Pearson. Obtenido de

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5540850/mod\\_resource/content/1/Livro%20.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5540850/mod_resource/content/1/Livro%20.pdf)

- Green, R. (2016). *Rockfall: Design considerations for pasive protection structures*. New Zealand Geotechnical Society. Nueva Zelanda: Ministry of Business, Innovation & Employment. Obtenido de <https://www.building.govt.nz/assets/Uploads/building-code-compliance/b-stability/b1-structure/rockfall-design-consideration/rockfall-design-passive-protection-structures.pdf>
- Grosic, M., Arbanas, Z., y Udovic, D. (2009). Designing and constructing rockfall barriers – Experiences in Republic of Croatia. *Eurock 2009, Rock Engineering in Difficult Ground Conditions – Soft Rocks and Karst* (págs. 703-708). Taylor & Francis Group. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/259178492\\_Designing\\_and\\_constructing\\_rockfall\\_barriers\\_-\\_Experiences\\_in\\_Republic\\_of\\_Croatia](https://www.researchgate.net/publication/259178492_Designing_and_constructing_rockfall_barriers_-_Experiences_in_Republic_of_Croatia)
- Hijar, G., Bonilla, C., Munayco, C., Gutierrez, E., y Ramos, W. (2016). Fenómeno el niño y desastres naturales: intervenciones en salud pública para la preparación y respuesta. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 33, 300-310. doi:<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2016.332.2205>
- Maccaferri. (2017). *Barrera de protección contra caída de rocas, Mar i Murtra, Blanes, España*. Blanes: Maccaferri. Obtenido de <https://www.maccaferri.com/es/download/ch-rf-es-bianchini-mar-murtra-rev00-dec17/?wpdmdl=14233>
- Maccaferri. (2019). *MAC.RO. SYSTEM - RMC300/A - 3000 kJ*. Maccaferri. Obtenido de <https://www.maccaferri.com/br/es/download/tds-br-rmc-300-sp/?wpdmdl=26308>
- Maccaferri. (s.f.). *Barreras Dinámicas*. Maccaferri. Obtenido de <https://www.scribd.com/presentation/511369894/BARRERA-DINAMICA>
- Marín Nieto, L. (2019). Sistema de alerta temprana para deslizamientos causados por lluvias intensas durante El Niño. *Revista Académica Ecuatoriana e Iberoamericana*, 1(1), 43-48. Obtenido de <http://revista.obacei.org/index.php/raei/article/view/27>

- Martínez, G. J., y Balaguer, C. J. (1998). *Litología, aprovechamiento de rocas industriales y riesgo de deslizamiento en la Comunidad Valenciana*. Valencia: Cancillería de Obras Públicas, Urbanismo y Transporte. Obtenido de <https://politicaterritorial.gva.es/documents/20551069/169376163/05.1+Litologia+aprovechamiento+de+rocas+industriales+y+riesgo+de+deslizamiento+en+la+Comunitat+Valenciana/e5113e77-3ad2-4f5e-89e3-df36337f206b>
- Mata, M., y Macias, A. (2021). *Análisis Petrográfico de los cerros de Bellavista y San Eduardo, Guayaquil, Ecuador*. Escuela Superior Politécnica del Litoral: Guayaquil. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52338>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). Peligro Sísmico: Diseño Sismo Resistente. En *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Ministerio de Fomento y Universidad de Cantabria. (1996). *Protección contra desprendimiento de rocas - Pantallas dinámicas*. Cantabria: Ministerio de Fomento: Secretaría de Estado de Infraestructura y Transportes. Obtenido de <https://normativadecarreteras.com/listing/proteccion-contra-desprendimientos-de-rocas-pantallas-dinamicas/>
- Montiel, E., y Zuñiga, J. (2012). Barreras elásticas de protección contra caídos de rocas. Ejemplo de aplicación en la C.H. “Fernando Hiriart Balderrama”. *XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica* (págs. 1-9). Cancún: Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A.C. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/328615955\\_Elastic\\_barriers\\_protection\\_against\\_rock\\_falls\\_Application\\_to\\_the\\_site\\_of\\_Hydroelectric\\_Power\\_Plant\\_Fernando\\_Hiriart\\_Balderrama](https://www.researchgate.net/publication/328615955_Elastic_barriers_protection_against_rock_falls_Application_to_the_site_of_Hydroelectric_Power_Plant_Fernando_Hiriart_Balderrama)
- Mora, E. (2020). *Crecimiento Progresivo de la Vivienda en los Asentamientos Informales de Guayaquil. Estudio de Caso Isla Trinitaria*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/15663/1/T-UCSG-POS-MARQ-1.pdf>

- Nocquet, J., Mothes, P., y Alvarado, A. (2012). Geodésia, geodinámica y ciclo sísmico en Ecuador. *Geología y Geofísica Marina y Terrestre del Ecuador*, 83-95. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Patricia-Mothes/publication/268184633\\_Geodesia\\_geodinamica\\_y\\_ciclo\\_sismico\\_en\\_Ecuador/links/54902cd10cf225bf66a820d3/Geodesia-geodinamica-y-ciclo-sismico-en-Ecuador.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Patricia-Mothes/publication/268184633_Geodesia_geodinamica_y_ciclo_sismico_en_Ecuador/links/54902cd10cf225bf66a820d3/Geodesia-geodinamica-y-ciclo-sismico-en-Ecuador.pdf)
- Nuñez del Arco, E. (2003). *Geología del Ecuador*. Guayaquil: Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Obtenido de <https://fdocuments.ec/document/libro-geologia-del-ecuador-por-ing-nunez-del-arco.html>
- Oggeri, C., y Peila, D. (2000). Protections of transportation Systems against rockfalls. *8th International Symposium of Landslides* , (págs. 1141-1146). Cardiff.
- Ordoñez, M. (2006). *Micropaleontología ecuatoriana : Datos bioestratigráficos y paleoecológicos de las cuencas: Graben de Jambelí. Progreso. Manabí, Esmeraldas y Oriente; del levantamiento de la Península de Santa Elena, y de las cordilleras colonche, costera y occidental*. Quito: Petroproducción. Obtenido de <https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=24908>
- Paima, J., y Sangama, L. (2019). *Diseño de Barreras Dinámicas Para la Protección Ante las Caídas de Rocas en el Tramo Shapaja - Chazuta, km 18+700.00 – 18+820.00, 2019*. Tarapoto, Parú: Universidad Científica del Perú. Obtenido de [http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/897/TRABAJO%20FINAL\\_JOSE%20LUIS%20PAIMA%20AGUIRRE.pdf?sequence=4&isAllowed=y](http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/897/TRABAJO%20FINAL_JOSE%20LUIS%20PAIMA%20AGUIRRE.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- Peralta, C., y Barrios, P. (2003). *Proyecto de creación de una fundación para el manejo y tratamiento de los residuos sólidos reciclables*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/21085>

- Ritchie, A. (1963). *Evaluation of Rockfall and Its Control*. Washington DC: Washington State Highway Commission. Obtenido de <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrr/1963/17/17-002.pdf>
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017*. Obtenido de <http://ftp.eeq.com.ec/upload/informacionPublica/2013/PLAN-NACIONAL-PARA-EL-BUEN-VIVIR-2013-2017.pdf>
- Sepulveda, A., Patiño, J., y Rodríguez, C. (2016). Metodología para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia: Metodología para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia: caso Utica, Cundinamarca, Colombia. *Obras y proyectos*(20), 31-43.
- Sistema Nacional de Información. (2011). Análisis de Amenaza por Tipo de Movimiento en Masa. En *Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional Escala 1: 2500*. Guayaquil: Sistema Nacional de Información. Obtenido de [https://www.geoportaligm.gob.ec/descargas\\_prueba/guayaquil.html](https://www.geoportaligm.gob.ec/descargas_prueba/guayaquil.html)
- Sistema Nacional de Información. (2011). Cantón Guayaquil. En *Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional Escala 1: 25000*. Guayaquil: Sistema Nacional de Información. Obtenido de [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA8/NIVEL\\_DEL\\_PDOT\\_CANTONAL/GUAYAS/GUAYQUIL/MEMORIA\\_TECNICA/mt\\_geomorfologia.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA8/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/GUAYAS/GUAYQUIL/MEMORIA_TECNICA/mt_geomorfologia.pdf)
- Suárez, J. (1998). Caracterización de los movimientos. En *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Obtenido de <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales/#:~:text=Deslizamientos%20y%20Estabilidad%20de%20Taludes%20en%20Zonas%20Tropicales%2C%20pretende%20ser,problemas%20de%20deslizamientos%20de%20tierra.>

- Suárez, J. (1998). Zonificación de Amenaza y Riesgo. En *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes*. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones Sobre Erosión y Deslizamientos. Obtenido de <https://www.erosion.com.co/download/capitulo-11-zonificacion-de-amenaza-y-riesgo/>
- Suárez, J. (2000). Control de Caídos y Deslizamientos en Roca. En *Deslizamientos: Técnicas de Remediación*. Bucaramanga: Geotecnología. Obtenido de <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-ii-tecnicas-de-remediacion/>
- Suárez, J. (2000). Deslizamientos en Áreas Urbanas y Obras de Ingeniería. En *Deslizamientos: Análisis Geotécnico*. Bucaramanga: Geotecnología. Obtenido de <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico/>
- Suárez, J. (2000). Estructuras Ancladas Pretensadas. En *Deslizamientos: Técnicas de remediación*. Bucaramanga: Geotecnología.
- Suárez, J. (2000). Mecanismos de falla. En *Deslizamientos: Análisis Geotécnicos*. Bucaramanga: Geotecnología. Obtenido de <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico/>
- Suárez, J. (2000). Nomenclatura y Clasificación de los movimientos. En *Deslizamientos: Análisis Geotécnico*. Bucaramanga: Geotecnología. Obtenido de <https://www.erosion.com.co/download/cap-1-nomenclatura-y-clasificacion/>
- Suárez, J. (2001). Tipos de Erosión y Su Control. En *Control de Erosión en Zona Tropicales*. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Obtenido de <https://www.erosion.com.co/control-de-erosion-en-zonas-tropicales/>
- Subcomisión técnica de la Secretaría Técnica de la Comisión Nacional del Derecho al Mar. (2006). *Plataforma Continental del Ecuador*. Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada. Obtenido de [https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas\\_oceanograficas/acta\\_13/OCE1301\\_16.pdf](https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas_oceanograficas/acta_13/OCE1301_16.pdf)

- Tancara, C. (1993). La Investigación Documental. *Temas sociales*(17), 91-106.  
Obtenido de <http://www.scielo.org.bo/pdf/rts/n17/n17a08.pdf>
- Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. (2018). *Carta de compromiso entre la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a través de la Facultad de Arquitectura y Diseño y la Facultad de Ingeniería y el Comité de Desarrollo Comunal Cerro San Eduardo para la Ejecución del Proyecto de Vinculación*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Vargas, G. (2000). Criterios Para la Clasificación y Descripción de Movimientos en Masa. *Boletín de Geología*, 22(37), 1-29. Obtenido de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegelogia/article/download/3965/4307/16906>
- Villavicencio, G. (2011). Las invasiones de tierras en Guayaquil: historia y conyuntura política. *Revista de Análisis Político*(11), 109-116. Obtenido de <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/4423/1/RFLACSO-LT11-17-Villavicencio.pdf>
- Volkien , A., Schellenberg, K., Labiouse, V., y Agliardi, F. (2011). Rockfall characterisation and structural protection - a review. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(9), 2617-2651. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/283258087\\_Rockfall\\_characterisation\\_and\\_structural\\_protection\\_-\\_a\\_review](https://www.researchgate.net/publication/283258087_Rockfall_characterisation_and_structural_protection_-_a_review)
- Witt, C., Bourgois, J., Michaud, F., Ordoñez, M., Jiménez, N., y Sosson, M. (2006). Development of the Gulf of Guayaquil (Ecuador) during the Quaternary as an effect of the North Andean block tectonic escape. *Tectonism*, 25(3), 1-22.  
doi:<https://doi.org/10.1029/2004TC001723>

## ANEXOS

### Anexo 1. Constitución de la República del Ecuador 2008

El **Artículo 30** expone lo siguiente:

Las personas tienen derecho a un hábitat seguro y saludable, y a una vivienda adecuada y digna, con independencia de su situación social y económica.

Así mismo, a continuación se señala el **Artículo 277**:

1. Garantizar los derechos de las personas, las colectividades y la naturaleza [...].
2. Dirigir, planificar y regular el proceso de desarrollo [...].
3. Generar y ejecutar las políticas públicas, y controlar y sancionar su incumplimiento.
4. Producir bienes, crear y mantener infraestructura y proveer servicios públicos [...].
5. Impulsar el desarrollo de las actividades económicas mediante un orden jurídico e instituciones políticas que las promuevan, fomenten y defiendan mediante el cumplimiento de la Constitución y la ley [...].
6. Promover e impulsar la ciencia, la tecnología, las artes, los saberes ancestrales y, en general, las actividades de la iniciativa creativa comunitaria, asociativa, cooperativa y privada [...] (p. 91).

En este sentido, el **Art. 375** precisa lo siguiente:

El Estado, en todos sus niveles de gobierno, garantizará el derecho al hábitat y a la vivienda digna, para lo cual:

1. Generará la información necesaria para el diseño de estrategias y programas que comprendan las relaciones entre vivienda, servicios, espacio y transporte públicos, equipamiento y gestión del suelo urbano [...].
2. Mantendrá un catastro nacional integrado georreferenciado de hábitat y vivienda [...].
3. Elaborará, implementará y evaluará políticas, planes y programas de hábitat y de acceso universal a la vivienda, a partir de los principios de

universalidad, equidad e interculturalidad, con enfoque en la gestión de riesgos [...].

4. El Estado ejercerá la rectoría para la planificación, regulación, control, financiamiento y elaboración de políticas de hábitat y vivienda.

## **Anexo 2. Plan Nacional de Desarrollo 2021 - 2025**

Objetivo 3, numeral 3.9: Garantizar el acceso a una vivienda adecuada, segura y digna.

Del numeral se desprenden varios literales que establecen lo siguiente:

- a. Fortalecer la conectividad y el acceso a las TIC como una vía para mejorar el acceso a otros servicios [...].
- b. Fortalecer los sistemas de agua potable y saneamiento como elementos fundamentales para garantizar la salud de la población [...].
- c. Promover programas de vivienda, especialmente aquellas de interés social, que incluyan mecanismos de gestión integral del hábitat [...].
- d. Contar con catastros urbano y rural actualizados, como mecanismo de ordenamiento y planificación territorial, que generen seguridad jurídica en tenencia y transferencia de la propiedad del suelo [...].
- e. Regular los asentamientos humanos en las zonas de planificación diferenciada, consideración sus límites biofísicos y patrimonio natural.

## **Anexo 3. Estatuto de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil**

### Artículo 3

Las responsabilidades sustantivas de la UCSG son las siguientes:

- b. La formación de la persona y del talento profesional, humano y ciudadano a través de la generación de condiciones y oportunidades para el desarrollo de sus capacidades [...].
- c. La gestión del conocimiento y los saberes de manera ética, crítica y prospectiva para la solución de los problemas de la sociedad, el desarrollo humano y la institucionalidad democrática.

## Artículo 65

Cumplir con la Constitución de la República, la Ley Orgánica de Educación Superior, su reglamento, el Estatuto y los Reglamentos de la UCSG; así como las resoluciones y disposiciones de los organismos y autoridades competentes de la UCSG.

### **Anexo 4. Convenio cerro San Eduardo-UCSG**

El proyecto de vinculación “Consultorio Urbano” presenta los siguientes antecedentes:

- a. La UCSG, es un establecimiento de educación superior, que tiene como finalidades esenciales la reparación de profesionales socialmente responsables con base en la investigación, conservación, promoción y difusión de la ciencia y de la cultura, haciendo énfasis en sus valores autóctonos en busca de lograr el mejor desarrollo y superación del hombre ecuatoriano en un marco de convivencia democrática, justicia social, paz creadora, respeto y exaltación a los valores y derechos humanos.
- b. La Facultad de Arquitectura y Diseño y la Facultad de Ingeniería de la UCSG diseñaron un proyecto de desarrollo comunitario denominado "Consultorio Urbano" bajo la temática de consultorías, cuya propuesta se formuló con el propósito de contribuir al mejoramiento de la calidad de vida urbana de las familias de Virgen del Cisne y 25 de Julio en el cerro San Eduardo, ubicado en la ciudad de Guayaquil, a través de una asesoría constante en lo urbano, arquitectónico/constructivo e identitario/cultural para lograr un óptimo proceso de producción social del hábitat, lo que permite la transferencia de conocimiento en las áreas antes mencionadas y la posterior evaluación del conocimiento adquirido.
- c. En virtud de los antecedentes expuestos se deja constancia que la presente Carta de Compromiso celebrada entre la FACULTADES DE ARQUITECTURA Y DISEÑO Y DE INGENIERÍA de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil debe ser ejecutada por las Carreras de Arquitectura, Diseño de Interiores, Gestión Gráfica Publicitaria e Ingeniería Civil, y constituye un instrumento de colaboración académica para fortalecer

el proceso formativo cursado por el estudiante, que lo pone en situación de aplicar los aprendizajes adquiridos (p. 1-2).

Las facultades de Arquitectura y Diseño e Ingeniería Civil se comprometen a lo siguiente:

- a. Diagnosticar las condiciones urbanas, arquitectónicas/constructivas e identitario/cultural del cerro San Eduardo en la ciudad de Guayaquil.
- b. Implementar la asesoría técnica a través de un Consultorio Urbano en las cooperativas Virgen del Cisne y 25 de Julio para la planificación, diseño y ejecución de proyectos de mejoramiento de estructuras habitacionales, espacios públicos e infraestructura de servicios comunitarios.
- c. Transferir conocimientos urbanísticos, arquitectónicos y constructivos e identitario cultural que fortalezcan capacidades y habilidades en los moradores del cerro San Eduardo.
- d. Promover mejoras en el espacio público/comunitario con diseño participativo que revitalice el entorno del sector.

Evaluar de manera periódica al final de cada etapa/actividad, la asimilación de información y su puesta en valor ante diferentes escenarios

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Idrovo Ortiz, Gabriel Andrés** con C.C: # **092081322-7** autor del Trabajo de Titulación: **Defensas dinámicas sucesivas para zonas amenazadas por caída de rocas del cerro San Eduardo, Guayaquil**, 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, 22 de septiembre del 2022**

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **Idrovo Ortiz, Gabriel Andrés**

C.C: **0920813227**

<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>			
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN</b>			
<b>TEMA Y SUBTEMA</b>	Defensas dinámicas sucesivas para zonas amenazadas por caída de rocas del cerro San Eduardo, Guayaquil		
<b>AUTOR(ES)</b>	Idrovo Ortiz, Gabriel Andrés		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Martínez Rehpani Colón Gilberto, M. Sc.		
<b>INSTITUCIÓN</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD</b>	Ingeniería		
<b>CARRERA</b>	Ingeniería Civil		
<b>TÍTULO OBTENIDO</b>	Ingeniero Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN</b>	20 de septiembre del 2022	<b>Nº. DE PÁGINAS</b>	155
<b>ÁREAS TEMÁTICAS</b>	Geotecnia, Ingeniería De Suelos, Dinámica, Mecánica De Rocas.		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS</b>	Defensas Dinámicas Sucesivas, Cerro San Eduardo, Cordillera Chongón-Colonche, Socioambiental, Meteorización, Lluvias, Energía Traslacional.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT</b> (150-250 palabras): La presente investigación tuvo origen en los hechos que ocurrieron en el área donde se realizó el estudio. Estos antecedentes hacen referencia a la caída de rocas y flujo de detritos en la zona del cerro San Eduardo, lo cual afecta de manera negativa a las comunidades aledañas al cerro, pues pone en riesgo la vida humana, los vehículos que circulan por las calles junto al cerro y la infraestructura vial. Debido a estos motivos, se propone el uso de defensas dinámicas puestas de manera sucesiva para el control del desprendimiento de rocas, con la finalidad de brindar protección ante la amenaza de riesgo. Para esto se realizó un levantamiento bibliográfico de los temas pertinentes acerca de la zona, normativas como la Constitución de la República del Ecuador, de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil y características, componentes y el diseño esquemático de las defensas a través de la Guía Europea de Aprobación Técnica (ETAG 027). El planteamiento esquemático de las defensas se consiguió a través de tablas, gráficos y fotografías que se obtuvieron en las visitas técnicas a los lugares planteados, a lo cual se sugiere la colocación de dos defensas dinámicas sucesivas en la zona 1 y cuatro defensas dinámicas sucesivas en la zona 2, cuyas dimensiones y características se desarrollaron en el contenido del documento.			
<b>ADJUNTO PDF</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES</b>	<b>Teléfono:</b> +593993805304	E-mail: idrovogabriel@gmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)</b>	<b>Nombre: Glas Cevallos, Clara Catalina</b>		
	<b>Teléfono: +593984616792</b>		
	<b>E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec</b>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (con base en datos)</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web)</b>			